

# VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

Absender: INTERNATIONALE RECHERCHENBEHÖRDE

## PCT

An SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT Postfach 22 16 D-80506 München GERMANY	CT IPS AM Mch P rec. MAY 09 2005 IP time limit 25.12.05
--	--

MITTEILUNG ÜBER DIE ÜBERMITTLUNG DES  
INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHTS  
UND DES SCHRIFTLICHEN BESCHEIDS DER  
INTERNATIONALEN RECHERCHENBEHÖRDE  
ODER DER ERKLÄRUNG

(Regel 44.1 PCT)

Absendedatum  
(Tag/Monat/Jahr) 06/05/2005

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts

2003P15846WO

**WEITERES VORGEHEN**

siehe Punkte 1 und 4 unten

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/050213

Internationales Anmeldedatum

(Tag/Monat/Jahr) 19/01/2005

Anmelder

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT

1. ☒ Dem Anmelder wird mitgeteilt, daß der internationale Recherchenbericht und der schriftliche Bescheid der Internationalen Recherchenbehörde erstellt wurden und ihm hiermit übermittelt werden.
- Einreichung von Änderungen und einer Erklärung nach Artikel 19:**  
Der Anmelder kann auf eigenen Wunsch die Ansprüche der internationalen Anmeldung ändern (siehe Regel 46):  
**Bis wann sind Änderungen einzureichen?**  
Die Frist zur Einreichung solcher Änderungen beträgt üblicherweise zwei Monate ab der Übermittlung des internationalen Recherchenberichts.  
**Wo sind Änderungen einzureichen?**  
Unmittelbar beim Internationalen Büro der WIPO, 34, chemin des Colombettes, CH-1211 Genf 20, Telefaxnr.: (41-22) 740.14.35  
**Nähere Hinweise** sind den Anmerkungen auf dem Beiblatt zu entnehmen.
2. ☐ Dem Anmelder wird mitgeteilt, daß kein internationaler Recherchenbericht erstellt wird und daß ihm hiermit die Erklärung nach Artikel 17 (2) a) sowie der schriftliche Bescheid der Internationalen Recherchenbehörde übermittelt werden.
3. ☐ **Hinsichtlich des Widerspruchs** gegen die Entrichtung einer zusätzlichen Gebühr (zusätzlicher Gebühren) nach Regel 40.2 wird dem Anmelder mitgeteilt, daß
- ☐ der Widerspruch und die Entscheidung hierüber zusammen mit seinem Antrag auf Übermittlung des Wortlauts sowohl des Widerspruchs als auch der Entscheidung hierüber an die Bestimmungsbüro dem Internationalen Büro übermittelt worden sind.
- ☐ noch keine Entscheidung über den Widerspruch vorliegt; der Anmelder wird benachrichtigt, sobald eine Entscheidung getroffen wurde.

#### 4. Zur Erinnerung:

Kurz nach Ablauf von **18 Monaten** seit dem Prioritätsdatum wird die internationale Anmeldung vom Internationalen Büro veröffentlicht. Will der Anmelder die Veröffentlichung verhindern oder auf einen späteren Zeitpunkt verschieben, so muß gemäß Regel 90<sup>bis</sup>.1 bzw. 90<sup>bis</sup>.3 vor Abschluß der technischen Vorbereitungen für die internationale Veröffentlichung eine Erklärung über die Zurücknahme der internationalen Anmeldung oder des Prioritätsanspruchs beim Internationalen Büro eingehen. Der Anmelder kann beim Internationalen Büro eine informelle Stellungnahme zum schriftlichen Bescheid der Internationalen Recherchenbehörde einreichen. Das Internationale Büro sendet allen Bestimmungsbüro eine Kopie dieser Stellungnahme, sofern nicht ein internationaler vorläufiger Prüfungsbericht erstellt worden ist bzw. gerade erstellt wird. Eine solche Stellungnahme würde auch der Öffentlichkeit zugänglich gemacht, allerdings erst nach Ablauf von 30 Monaten seit dem Prioritätsdatum. In bezug auf einige Bestimmungsbüro ist innerhalb von **19 Monaten** seit dem Prioritätsdatum ein Antrag auf internationale vorläufige Prüfung einzureichen, wenn der Anmelder den Eintritt in die nationale Phase verschieben und erst **30 Monaten** nach dem Prioritätsdatum (in manchen Ämtern sogar noch später) vornehmen möchte; ansonsten muß der Anmelder innerhalb von **20 Monaten** seit dem Prioritätsdatum die für den Eintritt in die nationale Phase vor diesen Bestimmungsbüro vorgeschriebenen Handlungen vornehmen. Bei anderen Bestimmungsbüro gilt die Frist von **30 Monaten** (oder eine etwaige längere Frist) auch dann, wenn innerhalb von 19 Monaten kein solcher Antrag eingereicht wird. Siehe Anhang zu Formblatt PCT/IB/301. Genaue Angaben zu den jeweils geltenden Fristen in den einzelnen Ämtern enthält der **PCT-Leitfaden für Anmelder**, Band II, Nationale Kapitel sowie die Website der WIPO.

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde



Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL-2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Christine Voigt

## ANMERKUNGEN ZU FORMBLATT PCT/ISA/220

Diese Anmerkungen sollen grundlegende Hinweise zur Einreichung von Änderungen gemäß Artikel 19 geben. Diesen Anmerkungen liegen die Erfordernisse des Vertrags über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens (PCT), der Ausführungsordnung und der Verwaltungsrichtlinien zu diesem Vertrag zugrunde. Bei Abweichungen zwischen diesen Anmerkungen und obengenannten Texten sind letztere maßgebend. Nähere Einzelheiten sind dem PCT-Leitfaden für Anmelder, einer Veröffentlichung der WIPO, zu entnehmen.  
Die in diesen Anmerkungen verwendeten Begriffe "Artikel", "Regel" und "Abschnitt" beziehen sich jeweils auf die Bestimmungen des PCT-Vertrags, der PCT-Ausführungsordnung bzw. der PCT-Verwaltungsrichtlinien.

### HINWEISE ZU ÄNDERUNGEN GEMÄSS ARTIKEL 19

Nach Erhalt des internationalen Recherchenberichts hat der Anmelder die Möglichkeit, einmal die Ansprüche der internationalen Anmeldung zu ändern. Es ist jedoch zu betonen, daß, da alle Teile der internationalen Anmeldung (Ansprüche, Beschreibung und Zeichnungen) während des internationalen vorläufigen Prüfungsverfahrens geändert werden können, normalerweise keine Notwendigkeit besteht, Änderungen der Ansprüche nach Artikel 19 einzureichen, außer wenn der Anmelder z.B. zum Zwecke eines vorläufigen Schutzes die Veröffentlichung dieser Ansprüche wünscht oder ein anderer Grund für eine Änderung der Ansprüche vor ihrer internationalen Veröffentlichung vorliegt. Weiterhin ist zu beachten, daß ein vorläufiger Schutz nur in einigen Staaten erhältlich ist.

#### Welche Teile der internationalen Anmeldung können geändert werden?

Im Rahmen von Artikel 19 können nur die Ansprüche geändert werden.

In der internationalen Phase können die Ansprüche auch nach Artikel 34 vor der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde geändert (oder nochmals geändert) werden. Die Beschreibung und die Zeichnungen können nur nach Artikel 34 vor der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde geändert werden.

Beim Eintritt in die nationale Phase können alle Teile der internationalen Anmeldung nach Artikel 28 oder gegebenenfalls Artikel 41 geändert werden.

#### Bis wann sind Änderungen einzureichen?

Innerhalb von zwei Monaten ab der Übermittlung des internationalen Recherchenberichts oder innerhalb von sechzehn Monaten ab dem Prioritätsdatum, je nachdem, welche Frist später abläuft. Die Änderungen gelten jedoch als rechtzeitig eingereicht, wenn sie dem Internationalen Büro nach Ablauf der maßgebenden Frist, aber noch vor Abschluß der technischen Vorbereitungen für die internationale Veröffentlichung (Regel 46.1) zugehen.

#### Wo sind die Änderungen nicht einzureichen?

Die Änderungen können nur beim Internationalen Büro, nicht aber beim Anmeldeamt oder der Internationalen Recherchenbehörde eingereicht werden (Regel 46.2).

Falls ein Antrag auf internationale vorläufige Prüfung eingereicht wurde/wird, siehe unten.

#### In welcher Form können Änderungen erfolgen?

Eine Änderung kann erfolgen durch Streichung eines oder mehrerer ganzer Ansprüche, durch Hinzufügung eines oder mehrerer neuer Ansprüche oder durch Änderung des Wortlauts eines oder mehrerer Ansprüche in der eingereichten Fassung.

Für jedes Anspruchsblatt, das sich aufgrund einer oder mehrerer Änderungen von dem ursprünglich eingereichten Blatt unterscheidet, ist ein Ersatzblatt einzureichen.

Alle Ansprüche, die auf einem Ersatzblatt erscheinen, sind mit arabischen Ziffern zu numerieren. Wird ein Anspruch gestrichen, so brauchen, die anderen Ansprüche nicht neu nummeriert zu werden. Im Fall einer Neunummerierung sind die Ansprüche fortlaufend zu numerieren (Verwaltungsrichtlinien, Abschnitt 205 b)).

Die Änderungen sind in der Sprache abzufassen, in der die internationale Anmeldung veröffentlicht wird.

#### Welche Unterlagen sind den Änderungen beizufügen?

**Begleitschreiben (Abschnitt 205 b)):**

Die Änderungen sind mit einem Begleitschreiben einzureichen.

Das Begleitschreiben wird nicht zusammen mit der internationalen Anmeldung und den geänderten Ansprüchen veröffentlicht. Es ist nicht zu verwechseln mit der "Erklärung nach Artikel 19(1)" (siehe unten, "Erklärung nach Artikel 19(1)").

Das Begleitschreiben ist nach Wahl des Anmelders in englischer oder französischer Sprache abzufassen. Bei englischsprachigen internationalen Anmeldungen ist das Begleitschreiben aber ebenfalls in englischer, bei französischsprachigen internationalen Anmeldungen in französischer Sprache abzufassen.



## ANMERKUNGEN ZU FORMBLATT PCT/ISA/220 (Fortsetzung)

Im Begleitschreiben sind die Unterschiede zwischen den Ansprüchen in der eingereichten Fassung und den geänderten Ansprüchen anzugeben. So ist insbesondere zu jedem Anspruch in der internationalen Anmeldung anzugeben (gleichlautende Angaben zu verschiedenen Ansprüchen können zusammengefaßt werden), ob

- i) der Anspruch unverändert ist;
- ii) der Anspruch gestrichen worden ist;
- iii) der Anspruch neu ist;
- iv) der Anspruch einen oder mehrere Ansprüche in der eingereichten Fassung ersetzt;
- v) der Anspruch auf die Teilung eines Anspruchs in der eingereichten Fassung zurückzuführen ist.

Im folgenden sind Beispiele angegeben, wie Änderungen im Begleitschreiben zu erläutern sind:

1. [Wenn anstelle von ursprünglich 48 Ansprüchen nach der Änderung einiger Ansprüche 51 Ansprüche existieren]:  
"Die Ansprüche 1 bis 29, 31, 32, 34, 35, 37 bis 48 werden durch geänderte Ansprüche gleicher Numerierung ersetzt; Ansprüche 30, 33 und 36 unverändert; neue Ansprüche 49 bis 51 hinzugefügt."
2. [Wenn anstelle von ursprünglich 15 Ansprüchen nach der Änderung aller Ansprüche 11 Ansprüche existieren]:  
"Geänderte Ansprüche 1 bis 11 treten an die Stelle der Ansprüche 1 bis 15."
3. [Wenn ursprünglich 14 Ansprüche existierten und die Änderungen darin bestehen, daß einige Ansprüche gestrichen werden und neue Ansprüche hinzugefügt werden]:  
Ansprüche 1 bis 6 und 14 unverändert; Ansprüche 7 bis 13 gestrichen; neue Ansprüche 15, 16 und 17 hinzugefügt. "Oder" Ansprüche 7 bis 13 gestrichen; neue Ansprüche 15, 16 und 17 hinzugefügt; alle übrigen Ansprüche unverändert."
4. [Wenn verschiedene Arten von Änderungen durchgeführt werden]:  
"Ansprüche 1-10 unverändert; Ansprüche 11 bis 13, 18 und 19 gestrichen; Ansprüche 14, 15 und 16 durch geänderten Anspruch 14 ersetzt; Anspruch 17 in geänderte Ansprüche 15, 16 und 17 unterteilt; neue Ansprüche 20 und 21 hinzugefügt."

### "Erklärung nach Artikel 19(1)" (Regel 46.4)

Den Änderungen kann eine Erklärung beigelegt werden, mit der die Änderungen erläutert und ihre Auswirkungen auf die Beschreibung und die Zeichnungen dargelegt werden (die nicht nach Artikel 19 (1) geändert werden können).

Die Erklärung wird zusammen mit der internationalen Anmeldung und den geänderten Ansprüchen veröffentlicht.

Sie ist in der Sprache abzufassen, in der die internationale Anmeldung veröffentlicht wird.

Sie muß kurz gehalten sein und darf, wenn in englischer Sprache abgefaßt oder ins Englische übersetzt, nicht mehr als 500 Wörter umfassen.

Die Erklärung ist nicht zu verwechseln mit dem Begleitschreiben, das auf die Unterschiede zwischen den Ansprüchen in der eingereichten Fassung und den geänderten Ansprüchen hinweist, und ersetzt letzteres nicht. Sie ist auf einem gesonderten Blatt einzureichen und in der Überschrift als solche zu kennzeichnen, vorzugsweise mit den Worten "Erklärung nach Artikel 19 (1)".

Die Erklärung darf keine herabsetzenden Äußerungen über den internationalen Recherchenbericht oder die Bedeutung von in dem Bericht angeführten Veröffentlichungen enthalten. Sie darf auf im internationalen Recherchenbericht angeführte Veröffentlichungen, die sich auf einen bestimmten Anspruch beziehen, nur im Zusammenhang mit einer Änderung dieses Anspruchs Bezug nehmen.

### Auswirkungen eines bereits gestellten Antrags auf internationale vorläufige Prüfung

Ist zum Zeitpunkt der Einreichung von Änderungen nach Artikel 19 bereits ein Antrag auf internationale vorläufige Prüfung gestellt worden, so sollte der Anmelder in seinem Interesse gleichzeitig mit der Einreichung der Änderungen beim Internationalen Büro auch eine Kopie der Änderungen bei der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde einreichen (siehe Regel 62.2 a), erster Satz).

### Auswirkungen von Änderungen hinsichtlich der Übersetzung der internationalen Anmeldung beim Eintritt in die nationale Phase

Der Anmelder wird darauf hingewiesen, daß bei Eintritt in die nationale Phase möglicherweise anstatt oder zusätzlich zu der Übersetzung der Ansprüche in der eingereichten Fassung eine Übersetzung der nach Artikel 19 geänderten Ansprüche an die bestimmten/ausgewählten Ämter zu übermitteln ist.

Nähere Einzelheiten über die Erfordernisse jedes bestimmten/ausgewählten Amtes sind Band II des PCT-Leitfadens für Anmelder zu entnehmen.

# PATENT COOPERATION TREATY

# PCT

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts <b>2003P15846WO</b>	<b>WEITERES VORGEHEN</b> siehe Formblatt PCT/ISA/220 sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5	
Internationales Aktenzeichen <b>PCT/EP2005/050213</b>	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) <b>19/01/2005</b>	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) <b>25/02/2004</b>
Anmelder  <b>SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT</b>		

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt 3 Blätter.

☒ Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

### 1. Grundlage des Berichts

a. Hinsichtlich der **Sprache** ist die internationale Recherche auf der Grundlage der internationalen Anmeldung in der Sprache durchgeführt worden, in der sie eingereicht wurde, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.

☐ Die internationale Recherche ist auf der Grundlage einer bei der Behörde eingereichten Übersetzung der internationalen Anmeldung (Regel 23.1 b)) durchgeführt worden.

b. ☐ Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** siehe Feld Nr. 1.

2. ☐ **Bestimmte Ansprüche haben sich als nicht recherchierbar erwiesen** (siehe Feld II).

3. ☐ **Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung** (siehe Feld III).

### 4. Hinsichtlich der **Bezeichnung der Erfindung**

☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.

☐ wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt:

### 5. Hinsichtlich der **Zusammenfassung**

☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.

☐ wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der in Feld Nr. IV angegebenen Fassung von der Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Behörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.

### 6. Hinsichtlich der **Zeichnungen**

a. Ist folgende Abbildung der **Zeichnungen** mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen: Abb. Nr. 2

☒ wie vom Anmelder vorgeschlagen

☐ wie von der Behörde ausgewählt, weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.

☐ wie von der Behörde ausgewählt, weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.

b. ☐ wird keine der Abbildungen mit der Zusammenfassung veröffentlicht.

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2005/050213

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H01L41/22

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)  
EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 100 28 335 A1 (EPCOS AG) 14. Februar 2002 (2002-02-14) Absatz '0035! - Absatz '0046!; Ansprüche 1-6; Abbildungen	1-3, 6, 9
A	WO 99/31739 A1 (SIEMENS AG; CRAMER DIETER ET AL) 24. Juni 1999 (1999-06-24) in der Anmeldung erwähnt Seite 12, Zeile 18 - Seite 15, Zeile 10; Ansprüche 1-5	1, 9



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. April 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

06/05/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Köpf, C



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/050213

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10028335	A1	14--02--2002	KEINE
WO 9931739	A1	24--06--1999	DE 19756182 A1 01-07-1999 EP 1053568 A1 22-11-2000

## Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Polarisierung eines piezoelektrischen Aktors

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Polarisierung eines piezoelektrischen Aktors gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine Vorrichtung zum Polarisieren eines piezoelektrischen Aktors gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 9.

10

Piezoelektrische Aktoren werden in den verschiedensten technischen Bereichen eingesetzt, um Stellglieder zu betätigen. Dabei haben die piezoelektrischen Aktoren den wesentlichen Vorteil, dass eine schnelle Betätigung mit hoher Dynamik und mit hoher Kraft möglich ist.

15

Ein piezoelektrischer Aktor ist aus einer Vielzahl von piezoelektrischen Schichten aufgebaut. Die einzelnen piezoelektrischen Schichten sind jeweils zwischen zwei Metallelektroden angeordnet. Zur Betätigung des piezoelektrischen Aktors wird an die piezoelektrischen Schichten eine elektrische Spannung angelegt, die zu einer Verlängerung der einzelnen piezoelektrischen Schichten und zu einer Verlängerung des piezoelektrischen Aktors insgesamt führt. Damit die piezoelektrische Schicht nach der Herstellung einen piezoelektrischen Effekt aufweist, bei dem sich die Dicke der piezoelektrischen Schicht bei Anlegen einer elektrischen Spannung verändert, ist es erforderlich, die piezoelektrischen Schichten zuerst zu polarisieren.

20  
25  
30

Zur Polarisierung der piezoelektrischen Schichten wird ein elektrisches Polarisationsfeld, d.h. eine elektrische Spannung angelegt, wodurch sich eine remanente Polarisation und eine

geordnete Verteilung der in den piezoelektrischen Schichten  
ausgerichteten Domänen in der Feldrichtung des Polarisati-  
onsfeldes gegenüber dem unpolarisierten Ausgangszustand ergibt.  
Nach der Polarisierung der piezoelektrischen Schichten sind die  
5 piezoelektrischen Schichten remanent, d.h. andauernd in der  
Richtung des angelegten Polarisationsfeldes verlängert. Die  
remanente Verlängerung der piezoelektrischen Schichten wird an  
die Spannungsbedingungen im Einsatz des piezoelektrischen Aktors  
dadurch angepasst, dass die Polarisierung unter einer Druck-  
10 spannung erfolgt. Dadurch werden Setzeffekte der piezoelekt-  
rischen Schichten, die nach der Polarisierung auftreten, re-  
duziert. Ein entsprechendes, gattungsgemäßes Verfahren ist aus  
der Internationalen Patentanmeldung mit der Internationalen  
Veröffentlichungsnummer WO 99/31739 bekannt.

15 Zur Polarisierung des piezoelektrischen Aktors werden zeitlich  
veränderliche Spannungen verwendet, da dadurch eine verbesserte  
Polarisierung erreicht wird. Die Länge des piezoelektrischen  
Aktors ändert sich während des Polarisationsvorganges ent-  
20 sprechend den angelegten Spannungspulsen. Da der piezoelekt-  
rische Aktor zur Darstellung der Druckspannung zwischen zwei  
Halterungen eingespannt ist, wird die von den Halterungen auf dem  
piezoelektrischen Aktor erzeugte Druckspannung durch die  
Längenänderung des piezoelektrischen Aktors verändert. Dadurch  
25 wird der Polarisationsvorgang des piezoelektrischen Aktors  
negativ beeinflusst.

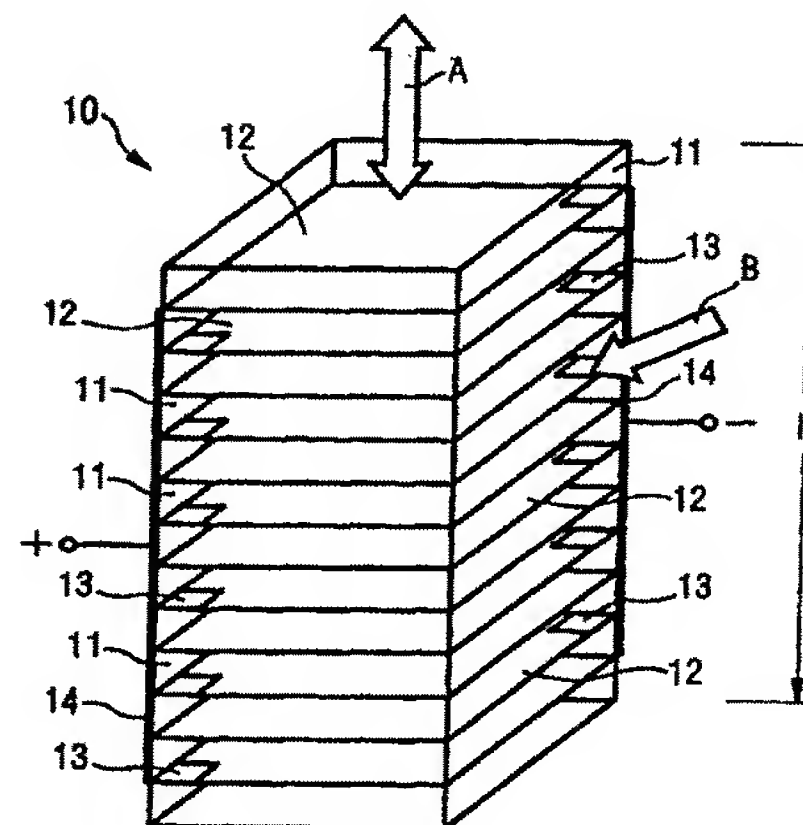
Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren und eine  
Vorrichtung zur Polarisierung eines piezoelektrischen Aktors  
30 bereitzustellen, mit dem eine Verbesserung des Polarisie-  
rungsvorganges möglich ist.



**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



<p>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <b>H01L 41/083, 41/22</b></p>	<p><b>A1</b></p>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 99/31739</b></p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 24. Juni 1999 (24.06.99)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/03687</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 15. Dezember 1998 (15.12.98)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 197 56 182.9      17. Dezember 1997 (17.12.97)      DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE). SIEMENS MATSUSHITA COMPONENTS GMBH &amp; CO. KG [DE/DE]; Balanstrasse 73, D-81541 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): CRAMER, Dieter [DE/DE]; Valleyerweg 10, D-83607 Holzkirchen (DE). LUBITZ, Karl [DE/DE]; Röntgenstrasse 20, D-85521 Ottobrunn (DE). SCHUH, Carsten [DE/DE]; Brunnenstrasse 73, D-85598 Baldham (DE). STEINKOPFF, Thorsten [DE/DE]; Ilchinger Strasse 1, D-85614 Eglharting (DE). WOLFF, Andreas [DE/DE]; Therese-Giehse-Allee 84, D-81739 München (DE).</p>	<p>(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).</p> <p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p><b>Veröffentlicht</b>  <i>Mit internationalem Recherchenbericht.          Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p>	
<p>(54) Title: METHOD FOR POLARISING PIEZOELECTRIC COMPONENTS, AND CORRESPONDING PIEZOELECTRIC COMPONENT</p> <p>(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM POLARISIEREN VON PIEZOELEKTRISCHEN BAUELEMENTEN UND PIEZOELEKTRISCHES BAUELEMENT</p> <p>(57) Abstract</p> <p>The invention relates to a method for polarising piezoelectric components, especially piezoelectric actuators, said components being made up of a number of piezoceramic layers with metal electrodes arranged in between. The inventive method is characterised by the following steps: a) a compressive stress (<math>T_p</math>) is applied to the component to be polarised before the polarisation process begins and until it has ended, said compressive stress counteracting the prolonging effect of the electric polarisation field to be applied and the value of the compressive stress (<math>T_p</math>) corresponding to <math>T_p &lt; T_d</math> and <math>T_p &gt; 0</math> and preferably to <math>T_p \geq T_b</math>, <math>T_d</math> being equal to the limit pressure determined by the deviation from the elastic lines and <math>T_b</math> being equal to the static pressure applied when the component is later operated; and b) an electric polarisation field is applied to the component, the field strength applied being greater than the coercive field strength for the component.</p> <p>(57) Zusammenfassung</p> <p>Es wird ein Verfahren zum Polarisieren von piezoelektrischen Bauelementen, insbesondere Piezoaktoren beschrieben, wobei die Bauelemente aus einer Vielzahl von Piezokeramik-Schichten und dazwischen liegenden Metallelektroden gebildet sind. Das Verfahren ist erfindungsgemäß durch folgende Schritte gekennzeichnet: a) Anlegen einer Druckspannung (<math>T_p</math>) an das zu polarisierende Bauelement vor Beginn der Polarisation und bis zum Ende der Polarisation, wobei die Druckspannung (<math>T_p</math>) der verlängerten Wirkung des anzulegenden elektrischen Polarisationsfelds entgegenwirkt und wobei für den Wert der Druckspannung <math>T_p</math> gilt: <math>T_p &lt; T_d</math> und <math>T_p &gt; 0</math> und vorzugsweise <math>T_p \geq T_b</math>, mit <math>T_d</math> gleich dem Grenzdruck, der durch die Abweichung von der elastischen Geraden bestimmt ist und <math>T_b</math> gleich dem statischen Druck, der im späteren Betrieb des Bauelements angelegt wird; und b) Anlegen eines elektrischen Polarisationsfelds an das Bauelement, wobei die angelegte Feldstärke größer ist als die Koerzitivfeldstärke für das Bauelement.</p>		



# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Beschreibung

Verfahren zum Polarisieren von piezoelektrischen Bauelementen und piezoelektrisches Bauelement.

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Polarisieren von piezoelektrischen Bauelementen, insbesondere Piezoaktoren, die aus einer Vielzahl von Piezokeramik-schichten und dazwischen liegenden Metallelektroden gebildet sind. Weiterhin betrifft die Erfindung ein entsprechendes piezoelektrisches Bauelement.

Piezoelektrische Bauelemente der genannten Art, beziehungsweise piezoelektrische monolithische Vielschicht-Piezoaktoren bestehen üblicherweise aus gemeinsam gesinterten Stapeln von Piezokeramik-Schichten mit dazwischen liegenden Metallelektroden. Jede Metallelektrode weist eine Aussparung auf, um dort die elektrischen Spannungen unterschiedlicher Polarität beim Polarisieren und beim späteren Betrieb des Bauelements zuzuführen. Die Aussparungen sind an jeder zweiten Elektrode an jeweils zwei gegenüberliegenden Kanten oder Seiten ausgebildet. Im Bereich der Aussparungen der Elektroden sind die jeweils übernächsten Elektroden mit einer von oben nach unten durchgehenden Metallisierungsbahn verbunden. Ein solches Bauelement ist in Figur 1 dargestellt und wird im Rahmen der Figurenbeschreibung näher erläutert.

Bei Betrieb solcher Bauelemente parallel zur Polarisationsrichtung werden zwar große Kräfte, aber nur kleine relative Auslenkungen erreicht. Zur Erzielung geringer Betriebsspannungen bestehen die Bauelemente aus einer Vielzahl von Ein-

30



zelschichten. Zur Polarisierung der Bauelemente wird an diese ein elektrisches Polarisationsfeld angelegt, wodurch sich eine maximale remanente Polarisation und eine geordnete Verteilung der in Feldrichtung in den Kristallen der Keramik ausgerichteten Domänen gegenüber dem unpolarisierten Ausgangszustand ergibt. Nach der Polarisation ist das Bauelement bleibend in Richtung des angelegten Felds beziehungsweise der remanenten Polarisation verlängert. Diese bleibende Verlängerung hat zur Folge, daß im inaktiven und nicht durch Feldeinwirkung verlängerten Kontaktierungsbereich Zugspannungen auftreten. Dadurch können im piezoelektrisch inaktiven Kontaktierungsbereich bei der Polarisierung des Bauelements Risse parallel zu den Elektroden auftreten, die zwar im Übergangsbereich zum aktiven Bereich des Bauelements zum Stillstand kommen, die aber im späteren Betrieb des Bauelements zu Folgeschäden und schließlich zum Ausfall des Bauelements führen können. Weiterhin ist bei den bekannten Bauelementen von Nachteil, daß sich die Bauelemente nach Inbetriebnahme innerhalb der ersten Betriebszyklen noch in ihrer Länge und/oder ihrem Arbeitshub verändern. Die Bauelemente erreichen somit erst nach einer längeren Betriebsdauer ihren endgültigen Zustand, wodurch eine Nachjustage während des Betriebs notwendig wird. Dies ist insbesondere deshalb von Nachteil, da die Bauelemente üblicherweise im eingeklemmten Zustand betrieben werden. Es besteht deshalb ein Bedarf nach piezoelektrischen Bauteilen, die mit dem Betriebsbeginn des Bauteils eine stabile Anwendung gestatten.

Um das Auftreten von Polungsrissen zu vermeiden ist aus der EP-A-0 479 328 ein Verfahren bekannt, bei dem durch ein aufwendiges Sonderbedruckungs- und Stapelverfahren im inaktiven

Kontaktierungsbereich parallel zu den Elektroden in den Keramikschichten vorbeugend Entlastungsschlitze erzeugt werden. Diese Entlastungsschlitze sollen die bei der Polarisierung entstehenden mechanischen Zugspannungen ähnlich wie die Polungsrisse selbst entlasten. Allerdings wird bei derartig ausgebildeten Bauelementen aufgrund der noch auftretenden Längenänderungen nach Betriebsbeginn ein stabiler Betriebszustand erst nach einer Reihe von Betriebszyklen erreicht.

10 Weiterhin ist bereits in allgemeiner Weise angedeutet worden, daß durch gleichzeitige Druckbelastung mit einem Druck von 30 bis 40 MPa bei der Polarisierung Polungsrisse vermieden werden können. Diese hohen Drücke können zwar zur Vermeidung von Polungsrisen beitragen, allerdings führen sie nicht zu einem stabilen Betrieb des Bauelements mit optimalen Kennwerten direkt ab Betriebsbeginn des Bauteils.

Ausgehend vom genannten Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Polarisieren von piezoelektrischen Bauelementen derart weiterzubilden, daß die genannten Nachteile vermieden werden. Insbesondere soll ein Verfahren bereitgestellt werden, durch das die Bauelemente auf solch eine Weise polarisiert werden, daß sie direkt ab Betriebsbeginn einen stabilen Betrieb mit optimalen Kennwerten ermöglichen, ohne daß es einer Nachjustage bedarf. Weiterhin soll auch erreicht werden, daß die Anzahl und die Größe der entstehenden Polungsrisse reduziert wird. Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung soll ein piezoelektrisches Bauteil mit diesen vorteilhaften Eigenschaften bereitgestellt werden.

- Die Aufgabe wird gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung durch ein Verfahren der oben genannten Art gelöst, das durch folgende Schritte gekennzeichnet ist: a) Anlegen einer Druckspannung  $T_p$  an das zu polarisierende Bauelement vor Beginn der Polarisierung und bis zum Ende der Polarisierung, wobei die Druckspannung  $T_p$  der verlängernden Wirkung des anzulegenden elektrischen Polarisationsfelds entgegenwirkt und wobei für den Wert der Druckspannung  $T_p$  gilt:  $T_p < T_d$  und  $T_p > 0$ , mit  $T_d$  gleich dem Grenzdruck, der durch die Abweichung von der elastischen Geraden bestimmt ist; und b) Anlegen eines elektrischen Polarisationsfelds an das Bauelement, wobei die angelegte Feldstärke größer ist als die Koerzitivfeldstärke für das Bauelement.
- 15 Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird ein über die gesamte Betriebsdauer des Bauelements -das heißt direkt ab Betriebsbeginn des Bauteils- stabiler Betriebszustand mit stabilen Kennwerten und einem stabilen Polarisierungszustand ermöglicht. Ein aufwendiges Nachjustieren der Bauelemente im eingebauten Zustand nach einer Reihe von Betriebszyklen kann somit entfallen. Da die Bauelemente üblicherweise eine maximale Betriebsdauer von bis zu  $1 \times 10^9$  Betriebszyklen haben, kann die Lebensdauer der Bauelemente optimal ausgenutzt werden, was neben verringerten Standzeiten der mit den Bauelementen bestückten Vorrichtungen auch zu einer erheblichen Kostenreduktion führt. Weiterhin wird die Anzahl und Größe der auftretenden Polungsrisse reduziert.
- 25

Durch das erfindungsgemäße Polarisationsverfahren wird beispielsweise erreicht, daß das Bauelement unter anderem einen im Betrieb stabileren thermischen Ausdehnungskoeffizienten

30



aufweist, wodurch die Möglichkeit gegeben ist, unerwünschte Effekte durch thermische Längenänderungen über konstruktive Maßnahmen zu kompensieren.

5 Das Keramikmaterial hat vorzugsweise eine Struktur, die das Auftreten von Piezoelektrizität gestattet. Dies wird durch Ferroelektrika mit Perowskitstruktur erreicht. Hierbei tritt bei Unterschreiten der Curietemperatur eine spontane Polari-  
sation und damit auch eine Längenänderung auf, die mit einer  
10 Deformation des Kristallgitters verbunden ist. Die Deformati-  
on ergibt sich aus der Tatsache, daß nach dem Sintern der Ke-  
ramik jedes kristalline Korn von anderen Körnern umgeben ist.  
Bei der Umwandlung in den ferroelektrischen Zustand wird je-  
des Korn spontan deformiert, gleichzeitig aber auch durch be-  
15 nachbarte Körner behindert. Auftretende innere Spannungen  
können teilweise nur durch Ausbildung von Domänen in den Kör-  
nern abgebaut werden. Dabei handelt es sich um eine tetrago-  
nale oder rhomboedrische Verzerrung des ursprünglichen kubi-  
schen Gitters, wodurch sich 180°- und 90°-Domänen in der  
20 tetragonalen Phase und 180°-, 71°- beziehungsweise 109°-  
Domänen in der rhomboedrischen Phase bilden. Nach der sponta-  
nen Polarisierung sind die Dipolmomente der einzelnen Domänen  
so ausgerichtet, daß sie sich aufgrund der statistisch ver-  
teilten Polarisations-richtungen kompensieren. Dies ist in  
25 Figur 2a dargestellt und wird weiter unten näher beschrieben.  
Durch Einwirkung eines elektrischen Polarisationsfelds werden  
die Dipole in den einzelnen Kristalliten orientiert, wodurch  
eine Polarisierung und Längenänderung des gesamten Körpers  
auftritt. Eine solche Polarisierung ist in Figur 2b darge-  
30 stellt und wird im Rahmen der Figurenbeschreibung näher er-  
läutert.

Als Metallelektroden können beispielsweise -jedoch nicht ausschließlich- AgPd-Elektroden verwendet werden.

- 5 Erfindungsgemäß wird die Polarisierung nicht am freien Bauteil, sondern unter einer gleichzeitig anliegenden Druckspannung  $T_p$  durchgeführt. Für die Druckspannung  $T_p$ , die der verlängerten Wirkung des elektrischen Polarisationsfelds entgegenwirkt und bereits vor Beginn des Anlegens der elektrischen  
10 Feldstärke bis zum Ende der Polarisierung aufgebracht wird, gelten erfindungsgemäß zwei Einschränkungen.

Zunächst ist die Druckspannung  $T_p$  kleiner als der Grenzdruck  $T_d$  zu wählen. Der Grenzdruck  $T_d$  ergibt sich wie folgt: Sowohl  
15 in einer unpolarisierten als auch in einer polarisierten Piezokeramik lassen sich ab einem bestimmten Druck oder Zug, der durch die Abweichung von der elastischen Gerade im Spannungs-Dehnungs-Diagramm bestimmt ist, Domänen durch die Bewegung von  $90^\circ$ -, beziehungsweise  $71^\circ/109^\circ$ -Domänenwänden umschalten,  
20 so daß auch nach Entfernen der mechanischen Belastung eine bleibende Längenänderung vorliegt. Dieser Druck wird im Sinne der vorliegenden Erfindung als Grenzdruck  $T_d$  bezeichnet. Durch die Wahl der Druckspannung  $T_p$  kleiner als der Grenzdruck  $T_d$  wird erreicht, daß nach der Polarisierung noch ein  
25 ausreichend großer Anteil von schaltbaren und zur Auslenkung beitragenden Domänenwänden verbleibt. Der Grenzdruck  $T_d$  hängt vom verwendeten Piezokeramikmaterial ab. Vorteilhaft beträgt der Grenzdruck  $T_d < 20$  MPa. Weiterhin muß die Druckspannung  $T_p$  größer als Null gewählt werden.

30

Nach der Beaufschlagung des zu polarisierenden Bauteils mit

der Druckspannung  $T_p$  wird an das Bauelement ein elektrisches Polarisationsfeld angelegt, wobei die elektrische Feldstärke größer ist als die Koerzitivfeldstärke für das Bauelement. Dadurch wird das Bauelement in der vorstehend beschriebenen  
5 Weise polarisiert.

Der zeitliche Verlauf der bei der Polarisierung anliegenden Spannung kann einem trapezförmigen Verlauf entsprechen. Es ist aber auch ein sinusförmiger Verlauf, insbesondere mit va-  
10 riabler Frequenz denkbar. Insbesondere ist ein dem Betriebsfall mit maximaler Betriebsspannung entsprechender Verlauf am Ende der Polarisation vorteilhaft.

Durch die erfindungsgemäß gewählte Druckspannung  $T_p$  hat das  
15 Bauelement nach der Polarisierung eine geringe Längenänderung gegenüber dem unpolarisierten Ausgangszustand, was eine entsprechende Reduzierung der Zugspannungen im inaktiven Kontaktierungsbereich und eine sich daraus ableitende Reduktion der Anzahl und Größe von Polungsrissen zur Folge hat. Gleichzeitig ist die Höhe der Druckspannung  $T_p$  ausreichend niedrig ge-  
20 wählt, so daß nach der Polarisierung eine ausreichend große Anzahl an schaltbaren und zur Auslenkung beitragenden Domänenwänden verbleibt. Bei Verwendung eines zu hohen Drucks, wie dies beispielsweise zum Stand der Technik beschrieben wurde, können zwar die Polungsrisse vermieden werden, aller-  
25 dings verbleibt nur ein sehr geringer Anteil von schaltbaren und zur Auslenkung beitragenden Domänenwänden. Bei deutlich niedrigerem Betriebsdruck ergibt sich dann der Nachteil eines instabilen Betriebs und die nachträgliche Entstehung von Rissen. Die erfindungsgemäße Polarisierung hat demnach zur Fol-  
30 ge, daß die bei üblicher Polarisierung erreichbare Remanenz



verringert ist. Dies hat allerdings den Vorteil, daß das Bauelement direkt ab Betriebsbeginn mit stabilen Kennwerten betrieben werden kann.

- 5   Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens ergeben sich aus den rückbezogenen Unteransprüchen.

Erfindungsgemäß kann für den Wert der Druckspannung  $T_p$  weiterhin gelten:  $T_p \geq T_b$ , mit  $T_b$  gleich dem statischen Druck,  
10   der im späteren Betrieb des Bauelements angelegt wird.

Im statischen und besonders im dynamischen Betrieb werden die Bauelemente in der Regel mit einem statischen Druck  $T_b$  beaufschlagt. Diese Vorlast hat zum Ziel, einen kraftschlüssigen  
15   Betrieb ohne Spalteneffekte zu gewährleisten sowie das Auftreten von dynamischen, trägheitsbedingten Zugspannungen zu verhindern. Vorteilhafte Werte für den statischen Druck liegen zwischen 10 und 20 MPa.

- 20   In weiterer Ausgestaltung kann die Druckspannung  $T_p$  einen Wert aufweisen, bei dem sich die Länge des Bauelements nach der Polarisierung nur um maximal +30% bis -10% der bei druckloser Polarisierung erreichten Längenänderung verändert. Dieser Wert ist materialabhängig und wird vorteilhaft experimentell  
25   ermittelt. Die Längenänderung bezieht sich in gleicher Weise auf das druckentlastete oder mit Druck beaufschlagte Bauelement.

Erfindungsgemäß kann die Druckspannung  $T_p$  einen Wert von 10  
30   bis 20 MPa, vorzugsweise 15 bis 20 MPa aufweisen. Dies entspricht bei einem Bauelement mit einem Grundquerschnitt von

50mm<sup>2</sup> etwa einer Last von 1 kN./mm<sup>2</sup>. Bei einem solchen Wert für die Druckspannung  $T_p$  wird erreicht, daß die Druckspannung bei den oben beschriebenen vorteilhaften Werten für den Grenzdruck  $T_d$  und den statischen Druck  $T_b$  die erforderlichen  
5 Bedingungen erfüllt.

Vorteilhaft kann die Druckspannung  $T_p$  über ein hydraulisches oder ein pneumatisches System, oder aber durch Federkraft aufgebracht werden. Die Erfindung ist jedoch nicht auf die  
10 genannten Beispiele beschränkt.

In weiterer Ausgestaltung kann das elektrische Polarisationsfeld eine Feldstärke aufweisen, die kleiner ist als die Durchschlagsfestigkeit des Bauelements. Vorteilhaft ist sie  
15 experimentell so einzustellen, daß ein optimaler Arbeitshub des Bauelements erreicht wird. Vorteilhaft kann die Feldstärke dem zwei- bis fünffachen Wert der Koerzitivfeldstärke entsprechen.

20 In weiterer Ausgestaltung weist das elektrische Polarisationsfeld eine Feldstärke von 2 bis 2.5 kV/mm auf.

Erfindungsgemäß kann die Polarisation bei einer Polarisations-  
temperatur von 20 bis 150°C durchgeführt werden.

25

Vorteilhaft wird die Polarisation des Bauelements in einem isolierenden Medium durchgeführt, insbesondere in Luft, Öl oder Schutzgas.

30 Die Polarisationszeit kann erfindungsgemäß bis zu 700 Sekunden, vorzugsweise etwa 500 Sekunden betragen.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren zum Polarisieren von Bauelementen wird erreicht, daß die Bauelemente von Betriebsbeginn an stabile Kennwerte aufweisen. Weiterhin wird die Anzahl und Größe der auftretenden Polungsrisse reduziert. Das  
5 erfindungsgemäße Verfahren trägt dem Umstand Rechnung, daß bei im Großsignal mit hohen Feldstärken (siehe oben) betriebenen piezoelektrischen Bauelementen der kleinere Teil der Auslenkung durch den linearen, reversiblen, der Remanenz proportionalen Anteil des Piezoeffekts gegeben wird, und daß der  
10 größere Teil der Auslenkung durch die Bewegung von Domänenwänden bewirkt wird. Durch den erfindungsgemäß gewählten spezifischen Wert für die Druckspannung  $T_p$  wird während der Polarisation der Bauelemente erreicht, daß ein ausreichend großer Anteil von schaltbaren und zur Auslenkung beitragenden  
15 Domänenwänden verbleibt und gleichzeitig eine vorteilhafte Polarisation durchgeführt werden kann.

Die Anwendung des erfindungsgemäßen Polarisierungsverfahrens  
20 kann leicht überprüft werden, indem das polarisierte Bauelement über seine Curietemperatur erwärmt und somit einer thermischen Depolarisierung unterworfen wird und gleichzeitig seine Längenänderung bestimmt wird, die maximal 30% des bei einer drucklosen Polarisation auftretenden Werts erreichen  
25 darf.

Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein piezoelektrisches Bauelement bereitgestellt, insbesondere ein Piezoaktor, mit einer Vielzahl von Piezokeramik-Schichten  
30 und dazwischen liegenden Metallelektroden, wobei das Bauelement durch Anlegen eines elektrischen Polarisationsfelds po-



larisiert ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement unter Anlegen einer Druckspannung  $T_p$  vor Beginn der Polarisierung und bis zum Ende der Polarisierung polarisiert ist, wobei die Druckspannung  $T_p$  der verlängernden Wirkung des anzulegenden elektrischen Polarisationsfelds entgegenwirkt und wobei für den Wert der Druckspannung  $T_p$  gilt:  $T_p < T_d$  und  $T_p > 0$ , mit  $T_d$  gleich dem Grenzdruck, der durch die Abweichung von der elastischen Geraden bestimmt ist.

- 10 Das erfindungsgemäße Bauelement weist stabile Kennwerte direkt ab Betriebsbeginn auf, so daß ein nachteiliges Nachjustieren zu einem späteren Zeitpunkt unterbleiben kann. Gleichzeitig wird die Anzahl und Größe der Polungsrisse verringert, was die Lebensdauer des Bauelements verlängert. Im
- 15 Hinblick auf die Vorteile, Wirkungen, Effekte und Funktionen des erfindungsgemäßen Bauelements wird auf die vorstehenden Ausführungen zum erfindungsgemäßen Verfahren vollinhaltlich Bezug genommen und hiermit verwiesen.
- 20 Bevorzugte Ausgestaltungen des piezoelektrischen Bauelements ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Bevorzugt ist das Bauelement nach einem wie vorstehend beschriebenen Verfahren hergestellt.

25

Vorteilhaft sind die einzelnen Metallelektroden über Metallisierungsbahnen miteinander verbunden.

- In weiterer Ausgestaltung kann das Bauelement bis zu 1000
- 30 Einzelschichten, vorzugsweise 200 bis 400 Einzelschichten aufweisen.

Erfindungsgemäß kann das Bauelement eine Stapelhöhe von 5 bis 40 mm aufweisen.

- 5 In weiterer Ausgestaltung kann das Bauelement einen Arbeitshub von 5 bis 60  $\mu\text{m}$  aufweisen.

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung näher erläutert. Es  
10 zeigt:

Figur 1 in schematischer Ansicht den Aufbau eines piezoelektrischen Bauelements; und

- 15 Figur 2a bis 2c verschiedene Polarisationszustände des Bauelements bei unterschiedlichen Bedingungen.

In Figur 1 ist ein als monolithischer Vielschicht-Piezoaktor ausgebildetes piezoelektrisches Bauelement 10 dargestellt.  
20 Das Bauelement 10 kann beispielsweise als Ventilantrieb fungieren und hat eine Betriebsdauer von bis zu  $1 \times 10^9$  Betriebszyklen. Das Bauelement 10 weist eine Vielzahl von Piezokeramiksichten 11 und dazwischen liegenden Metallelektroden 12 auf. Die Metallelektroden 12 weisen jeweils eine Aussparung  
25 13 auf, wobei die Aussparungen 13 benachbarter Elektroden 12 jeweils an gegenüberliegenden Kanten oder Seiten der Elektroden 12 ausgebildet sind. Die im Bereich der Aussparungen 13 an die Oberfläche tretenden jeweiligen benachbarten, übernächsten Elektroden 12 sind über Metallisierungsbahnen 14 untereinander verbunden. Über die Metallisierungsbahnen 14 kann  
30 das Bauelement 10 mit einem elektrischen Feld zunächst zur

Polarisierung und anschließend zum Betrieb beaufschlagt werden.

Um mit dem Bauelement 10 Arbeitshübe von 5 bis 60  $\mu\text{m}$  erreichen zu können, ist eine Stapelhöhe  $h$  von 5 bis 40 mm erforderlich, was einer Anzahl von bis zu 1000 Einzelschichten 11, 12 entspricht.

Nach Unterschreiten der Curietemperatur weisen die gesinter-  
10 ten Keramikkörner der Keramikschichten 11 eine spontane Polarisation auf, die mit einer Deformation des Kristallgitters verbunden ist. Auftretende innere Spannungen können teilweise nur durch die Ausbildung von Domänen in den Körnern abgebaut werden. Nach der spontanen Polarisation sind die Dipolmomente  
15 der einzelnen Domänen so ausgerichtet, daß sie sich aufgrund der statistisch verteilten Polarisationsrichtungen kompensieren. Dies ist durch die entsprechenden Pfeile in Figur 2a dargestellt.

20 Durch Einwirkung eines elektrischen Polarisationsfelds am freien und ohne Druckspannung  $T_p$  beaufschlagten Bauelement 10 werden die Dipole in den einzelnen Kristalliten orientiert, wodurch eine Polarisation und Längenänderung des gesamten Körpers in Pfeilrichtung A auftritt. Eine solche Polarisation  
25 ist in Figur 2b dargestellt.

Durch die auftretenden Zugspannungen im inaktiven Kontaktierungsbereich B können bei der Polarisierung die sogenannten Polungsrisse auftreten.

Nachfolgend wird nun exemplarisch eine Ausführungsform des



erfindungsgemäßen Polarisierungsverfahrens beschrieben.

Das zu polarisierende Bauelement 10 kann in ein Polarisationsmedium -beispielsweise Luft, Öl oder Schutzgas- einge-  
5 bracht und wahlweise auf eine Polarisationsstemperatur von 20 bis 150 °C gebracht werden. Bereits vor dem eigentlichen Polarisations-schritt wird das Bauelement mit einer Druckspannung  $T_p$  von 10 bis 20 MPa beaufschlagt. Dabei wirkt die Druckspannung  $T_p$  der verlängernden Wirkung des Polarisations-  
10 felds, die durch den Pfeil A angedeutet ist, entgegen. Die Druckspannung  $T_p$  auf das Bauelement 10 wird während der gesamten Polarisierung aufrechterhalten. Anschließend wird an dem Bauelement 10 über die Metallierungsbahnen 14 ein elektrisches Polarisationsfeld mit einer Stärke von 2 bis 2.5  
15 kV/mm angelegt, was in Figur 1 durch die Symbole „+ und -“ angedeutet ist. Nach Ablauf einer ausreichenden Polarisationszeit von etwa 500 Sekunden wird die Polarisierung beendet, und das Bauelement 10 kann in den Betrieb übernommen werden.

20 Die erfindungsgemäße Polarisierung hat zur Folge, daß die bei üblicher, druckloser Polarisierung erreichbare Remanenz gemäß Figur 2b zunächst verringert ist. Dies ist in Figur 2c dargestellt. Allerdings verbleibt ein größerer Anteil von im Großsignalbetrieb schaltbaren und zur Auslenkung beitragenden Domänenwänden. Weiterhin ist durch die im Vergleich zu Figur 2b vorhandene geringere Polung gemäß Figur 2c eine Reduzierung der Anzahl und Größe von Polungsrissen möglich. Das gemäß Figur 2c polarisierte Bauelement 10 weist einen stabilen Betrieb mit entsprechenden stabilen Kennwerten direkt ab Betriebsaufnahme auf, so daß Einschwing-Betriebszyklen nach Betriebsaufnahme sowie ein nachteiliges Nachjustieren entfallen  
30

können.

Die Polarisierung der Bauelemente kann gemäß einer ersten Ausführungsvariante zunächst in einer separaten Vorrichtung durchgeführt werden. Nach der Polarisierung wird das Bauelement aus dieser Vorrichtung entnommen und in seiner dafür vorgesehenen Betriebsumgebung eingebaut. Nach dem Einbau des polarisierten Bauelements wird das Bauelement anschließend mit einem für den Betrieb vorteilhaften statischen Druck  $T_b$  beaufschlagt.

Gemäß einer anderen Ausführungsvariante erfolgt die Polarisierung des Bauelements am späteren Betriebsort des Bauelements. Das hat den Vorteil, daß die Druckspannung  $T_p$  nach Beendigung der Polarisierung nicht mehr entfernt werden muß. Das Bauelement kann also zunächst unpolarisiert in seine endgültige Betriebsumgebung eingebaut, mit Druck beaufschlagt, polarisiert und anschließend betrieben werden. Da das Bauteil bei der erfindungsgemäßen Polarisierung seine Gesamtlänge nur geringfügig ändert, kann eine entsprechende Anordnung wie folgt realisiert werden: Das unpolarisierte Bauelement -beispielsweise ein Aktor- wird in das Innere einer mit einem festen Boden verschlossenen Rohrfeder eingesetzt. Die Rohrfeder wird mit einer dem Polarisationsdruck  $T_p$ , beziehungsweise dem Betriebsdruck entsprechenden Kraft gedehnt. Anschließend wird eine Deckplatte in die Rohrfeder eingesetzt und mit der Rohrfeder verschweißt. Der so unter Druckspannung in die Rohrfeder eingebaute Aktor wird anschließend erfindungsgemäß polarisiert und in gleicher Anordnung betrieben.

## Patentansprüche

- 1) Verfahren zum Polarisieren von piezoelektrischen Bauelementen, insbesondere Piezoaktoren, die aus einer Vielzahl von Piezokeramik-Schichten und dazwischen liegenden Metallelektroden gebildet sind, gekennzeichnet durch folgende Schritte: a) Anlegen einer Druckspannung  $T_p$  an das zu polarisierende Bauelement vor Beginn der Polarisierung und bis zum Ende der Polarisierung, wobei die Druckspannung  $T_p$  der verlängernden Wirkung des anzulegenden elektrischen Polarisationsfelds entgegenwirkt und wobei für den Wert der Druckspannung  $T_p$  gilt:  $T_p < T_d$  und  $T_p > 0$ , mit  $T_d$  gleich dem Grenzdruck, der durch die Abweichung von der elastischen Geraden bestimmt ist; und b) Anlegen eines elektrischen Polarisationsfelds an das Bauelement, wobei die angelegte Feldstärke größer ist als die Koerzitivfeldstärke für das Bauelement.
- 2) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für den Wert der Druckspannung  $T_p$  weiterhin gilt:  $T_p \geq T_b$ , mit  $T_b$  gleich dem statischen Druck, der im späteren Betrieb des Bauelements angelegt wird.
- 3) Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckspannung  $T_p$  einen Wert aufweist, bei dem sich die Länge des Bauelements nach der Polarisierung um maximal +30% bis -10% des bei druckloser Polarisierung erreichten Werts verändert.
- 4) Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckspannung  $T_p$  einen Wert von 10

bis 20 MPa, vorzugsweise 15 bis 20 MPa aufweist.

- 5) Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckspannung  $T_p$  über ein hydraulisches oder pneumatisches System oder durch Federkraft aufgebracht wird.
- 6) Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das elektrische Polarisationsfeld eine Feldstärke aufweist, die kleiner ist als die Durchschlagfestigkeit des Bauelements und insbesondere dem zwei- bis fünffachen Wert der Koerzitivfeldstärke entspricht.
- 7) Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das elektrische Polarisationsfeld eine Feldstärke von 2 bis 2.5 kV/mm aufweist.
- 8) Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Polarisation bei einer Polarisationstemperatur von 20 bis 150 °C durchgeführt wird.
- 9) Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Polarisation in einem isolierenden Medium durchgeführt wird, insbesondere in Luft, Öl oder Schutzgas.
- 10) Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Polarisationszeit bis 700 Sekunden, insbesondere etwa 500 Sekunden beträgt.



- 11) Piezoelektrisches Bauelement, insbesondere Piezoaktor, mit einer Vielzahl von Piezokeramiksichten (11) und dazwischen liegenden Metallelektroden (12), wobei das Bauelement (10) durch Anlegen eines elektrischen Polarisationsfelds polarisiert ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement (10) unter Anlegen einer Druckspannung  $T_p$  vor Beginn der Polarisation und bis zum Ende der Polarisation polarisiert ist, wobei die Druckspannung  $T_p$  der verlängernden Wirkung des anzulegenden elektrischen Polarisationsfelds entgegenwirkt und wobei für den Wert der Druckspannung  $T_p$  gilt:  $T_p < T_d$  und  $T_p > 0$ , mit  $T_d$  gleich dem Grenzdruck, der durch die Abweichung von der elastischen Geraden bestimmt ist.
- 12) Piezoelektrisches Bauelement nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement (10) durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 polarisiert ist.
- 13) Piezoelektrisches Bauelement nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Metallelektroden (12) über Metallisierungsbahnen (14) miteinander verbunden sind.
- 14) Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement (10) bis zu 1000 Einzelschichten (10, 11), insbesondere 200 bis 400 Einzelschichten (10, 11) aufweist.
- 15) Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement (10)

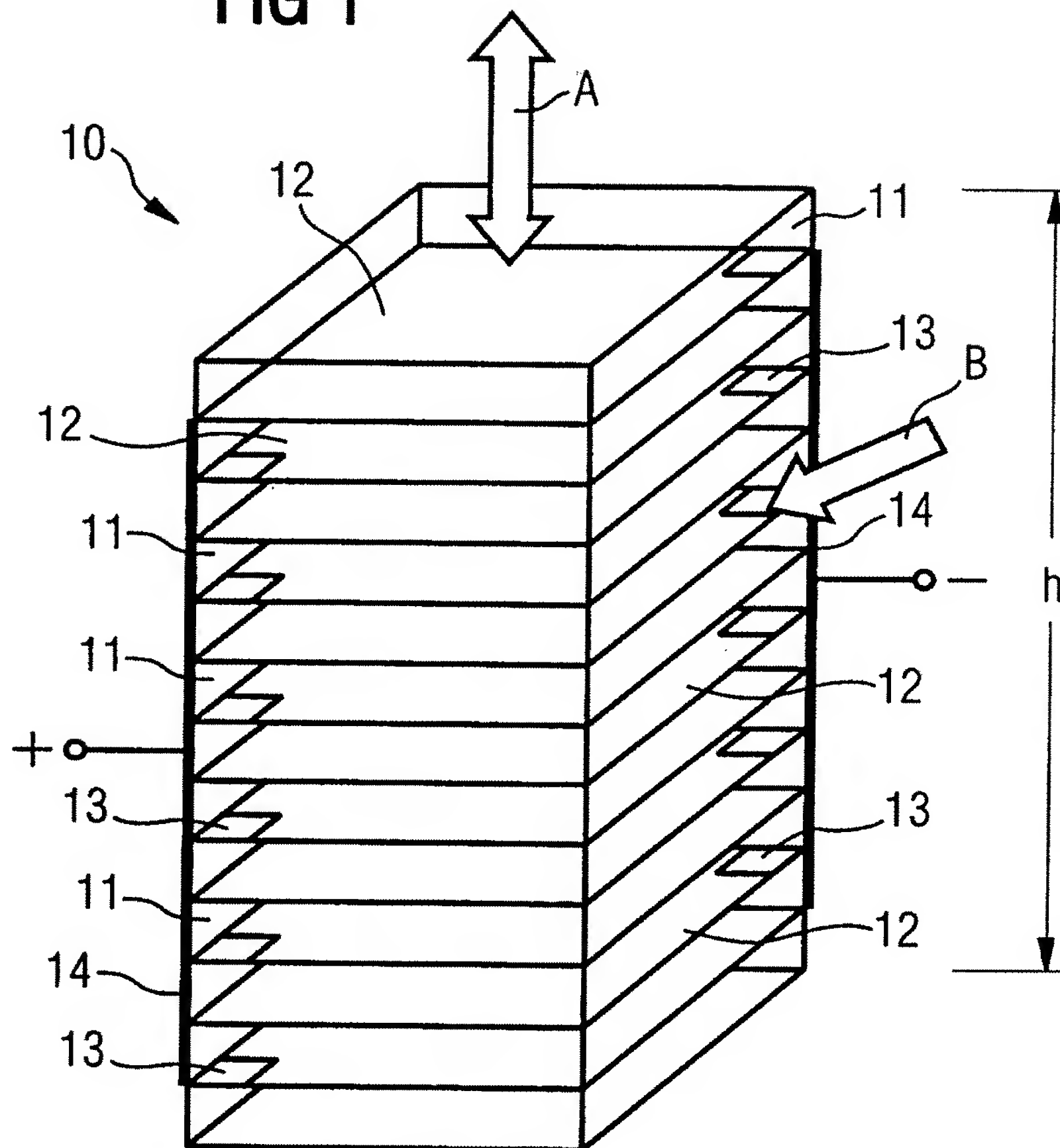
19

eine Stapelhöhe (h) von 5 bis 40 mm aufweist.

- 16) Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement (10) einen Arbeitshub von 5 bis 60  $\mu\text{m}$  aufweist.

1/2

FIG 1



2/2

FIG 2 A

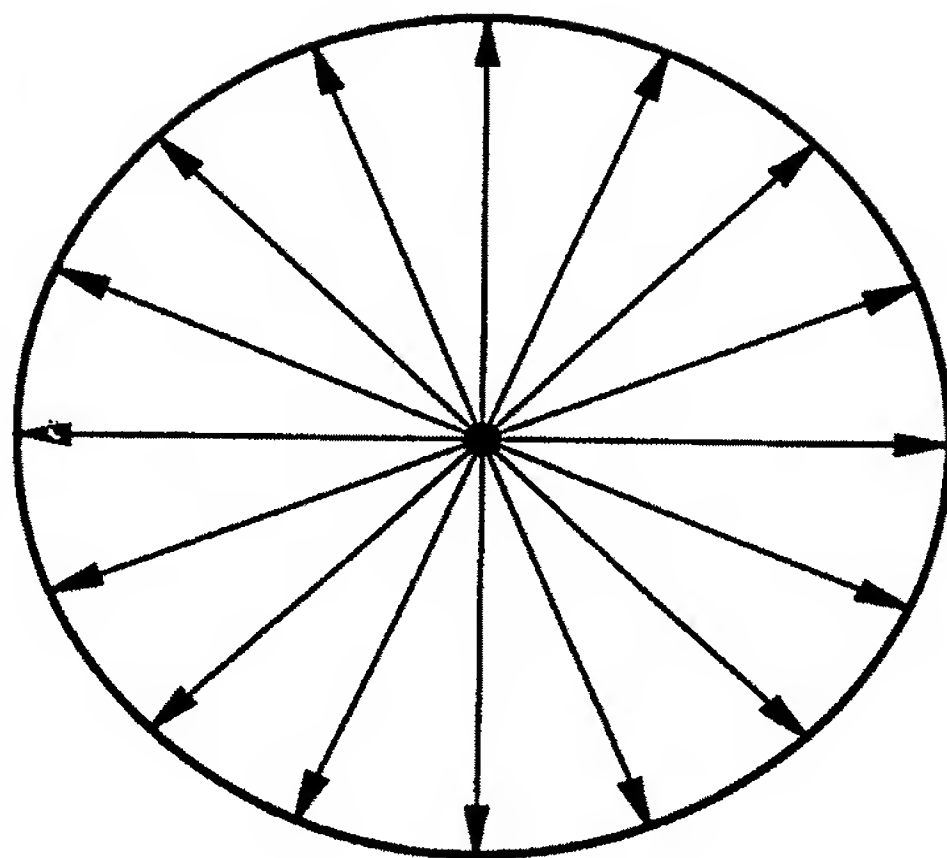


FIG 2 B

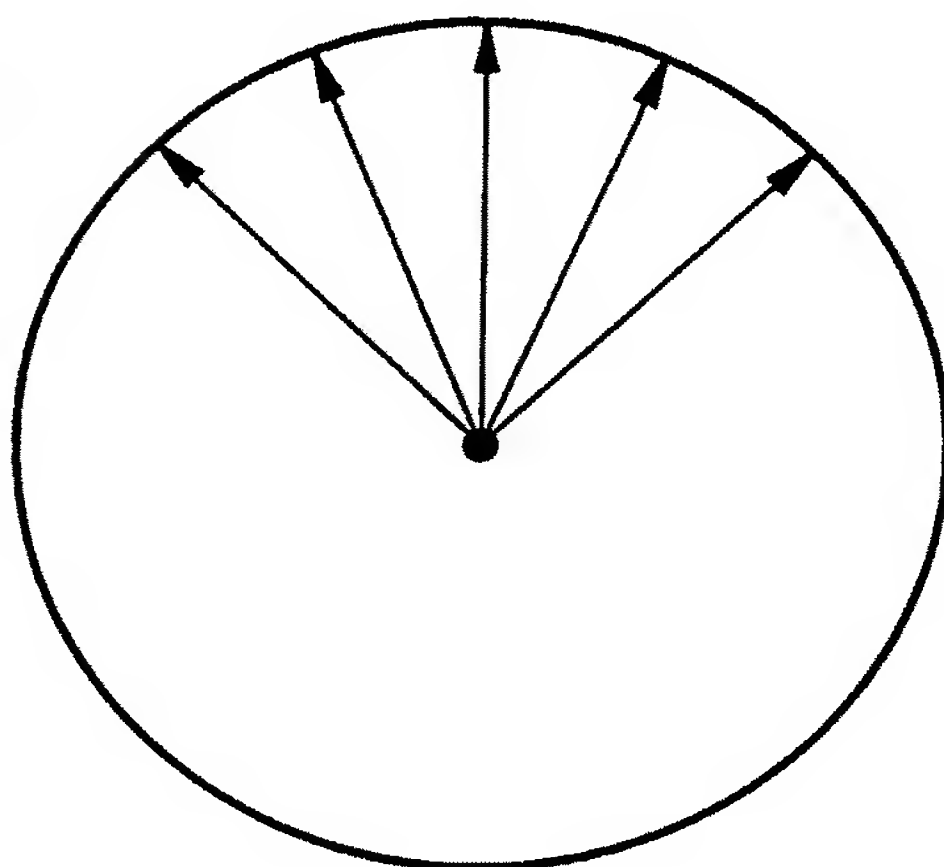
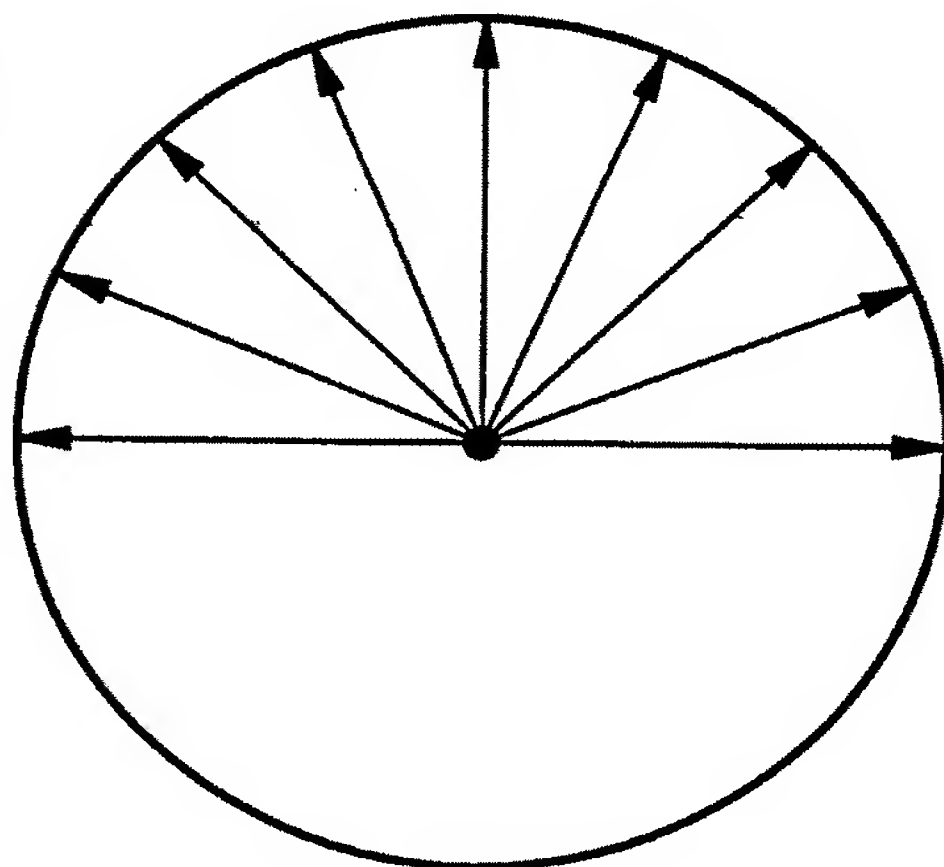


FIG 2 C





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In International Application No  
PCT/DE 98/03687

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 H01L41/083 H01L41/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 350 941 A (HITACHI LTD) 17 January 1990 see abstract; figures 1,2 see column 1, line 19 - line 43 see column 3, line 50 - column 4, line 23 see column 8, line 1 - line 23 ---	1-16
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 425 (E-0977), 13 September 1990 & JP 02 163983 A (TOYOTA MOTOR CORP), 25 June 1990 see abstract ----- -/--	1-16

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 April 1999

Date of mailing of the international search report

29/04/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Visscher, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 98/03687

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 006 (E-1302), 7 January 1993 & JP 04 239182 A (JAPAN AVIATION ELECTRON IND LTD), 27 August 1992 see abstract ---	1-16
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 096, no. 001, 31 January 1996 & JP 07 240546 A (TOYOTA CENTRAL RES & DEV LAB INC), 12 September 1995 see abstract -----	1,11

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

### Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 98/03687

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0350941 A	17-01-1990	JP 2026087 A	29-01-1990
		JP 2738706 B	08-04-1998
		DE 68919556 D	12-01-1995
		DE 68919556 T	13-04-1995
		US 5196756 A	23-03-1993
-----			

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In ationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/03687

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 H01L41/083 H01L41/22

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
IPK 6 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 350 941 A (HITACHI LTD) 17. Januar 1990 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 siehe Spalte 1, Zeile 19 - Zeile 43 siehe Spalte 3, Zeile 50 - Spalte 4, Zeile 23 siehe Spalte 8, Zeile 1 - Zeile 23 ---	1-16
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 425 (E-0977), 13. September 1990 & JP 02 163983 A (TOYOTA MOTOR CORP), 25. Juni 1990 siehe Zusammenfassung --- -/-	1-16

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist.

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

21. April 1999

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

29/04/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Visscher, E



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In. ationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/03687

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 006 (E-1302), 7. Januar 1993 & JP 04 239182 A (JAPAN AVIATION ELECTRON IND LTD), 27. August 1992 siehe Zusammenfassung ----	1-16
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 096, no. 001, 31. Januar 1996 & JP 07 240546 A (TOYOTA CENTRAL RES & DEV LAB INC), 12. September 1995 siehe Zusammenfassung -----	1,11

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Intentionales Aktenzeichen

PCT/DE 98/03687

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0350941 A	17-01-1990	JP 2026087 A	29-01-1990
		JP 2738706 B	08-04-1998
		DE 68919556 D	12-01-1995
		DE 68919556 T	13-04-1995
		US 5196756 A	23-03-1993
-----			

**Method for polarizing a piezo ceramics device e.g. for vehicle fuel injection system, involves using multiple DC consecutive pulses with pulse form corresponding to operation of piezo ceramics in motor vehicle.**

Veröffentlichungsnummer DE10028335 (A1)

Veröffentlichungsdatum: 2002-02-14

Erfinder: KAINZ GERALD [AT]; CRAMER DIETER [AT]

Anmelder: EPCOS AG [DE]

Klassifikation:

- Internationale: H01L41/083; H01L41/24; H01L41/083; H01L41/24;  
(IPC1-7): H01L41/24

- Europäische: H01L41/083; H01L41/24

Anmeldenummer: DE20001028335 20000608

Prioritätsnummer(n): DE20001028335 20000608

Auch veröffentlicht als

DE10028335 (B4)

Zitierte Dokumente

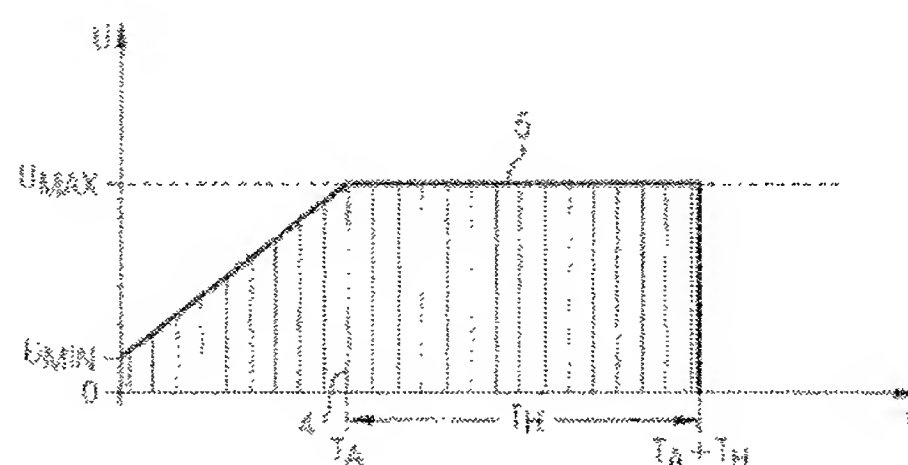
DE19756182 (A1)

US5512796 (A)

US2928163 (A)

Zusammenfassung von DE 10028335 (A1)

A main body (1) is made from unpolarized ceramic material with two or more electrodes with flat surfaces facing each other. A number of voltage pulses (4) are applied to the electrodes, whose pulse levels follow an envelope curve (5) by depending on time. The curve grows in a first section during a build-up time ( $T_A$ ) from a minimum voltage ( $U_{MIN}$ ) to a maximum voltage ( $U_{MAX}$ ) and holds the maximum voltage in a second section during a holding time ( $T_H$ ).



Daten sind von der esp@cenet Datenbank verfügbar — Worldwide



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

①⑫ **Offenlegungsschrift**  
①⑩ **DE 100 28 335 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 L 41/24**

②① Aktenzeichen: 100 28 335.7  
②② Anmeldetag: 8. 6. 2000  
④③ Offenlegungstag: 14. 2. 2002

DE 100 28 335 A 1

⑦① Anmelder:  
EPCOS AG, 81541 München, DE

⑦④ Vertreter:  
Epping, Hermann & Fischer, 80339 München

⑦② Erfinder:  
Kainz, Gerald, Dr., Graz, AT; Cramer, Dieter, Graz, AT

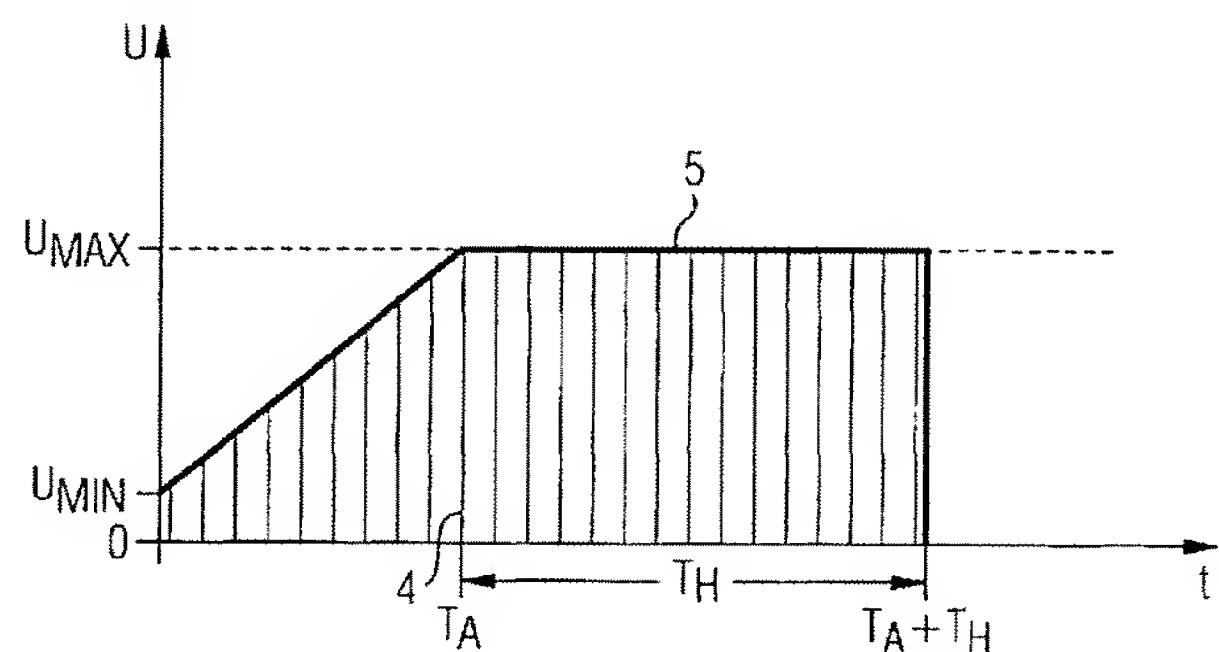
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 197 56 182 A1  
US 55 12 796  
US 29 28 163  
Jaffe B.: Piezoelectric ceramics, Academic Press,  
London New York, 1971, S. 263-267;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik, Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors und Verwendung des Piezo-Aktors

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik, bei der eine Vielzahl von aufeinanderfolgenden Gleichspannungspulsen verwendet wird, die in ihrer Pulsform dem späteren Betrieb der Piezokeramik, beispielsweise in einem Kraftfahrzeug, entsprechen. Ferner wird die Polarisierung bei erhöhter Temperatur, wie sie auch später im Betrieb der Piezokeramik auftritt, durchgeführt. Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, daß die Piezokeramik nur noch sehr geringen Setzeffekten ausgesetzt ist, wodurch sich die Länge der Piezokeramik in ihrem Ruhezustand während des Betriebs nicht mehr ändert. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors und die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Polarisieren einer Piezokeramik. Darüber hinaus betrifft die Erfindung die Verwendung eines gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Piezo-Aktors unter den Bedingungen, unter denen die Piezokeramik des Piezo-Aktors polarisiert worden ist.



DE 100 28 335 A 1



[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik, wobei, ausgehend von einem Grundkörper aus unpolarisierter Piezokeramik mit wenigstens zwei flächig einander gegenüberliegenden Elektroden, eine elektrische Spannung an die Elektroden angelegt wird. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors. Darüber hinaus betrifft die Erfindung die Verwendung des Piezo-Aktors.

[0002] Eine Piezokeramik ist ein Material, das sich aufgrund des piezoelektrischen Effekts beim Anlegen einer elektrischen Spannung ausdehnt. Solche Piezokeramiken bilden die Basis für Piezo-Aktoren, die beim Anlegen einer Spannung einen Verfahrweg von einigen Mikrometern realisieren. Die Piezokeramik weist elektrische Dipolmomente auf, die jeweils innerhalb von Weiss'schen Bezirken, die gegeneinander abgegrenzt sind, eine Vorzugsrichtung aufweisen. In einem unpolarisierten Grundzustand der Piezokeramik sind die Vorzugsrichtungen der einzelnen Weiss'schen Bezirke ungeordnet, so daß nach außen hin keine makroskopische elektrische Polarisierung der Piezokeramik vorliegt.

[0003] Um den piezoelektrischen Effekt für Piezo-Aktoren nutzbar zu machen, muß die Piezokeramik durch das Ausrichten der elektrischen Dipolmomente polarisiert werden, wonach die elektrischen Dipolmomente in allen Weiss'schen Bezirken nicht oder nur sehr wenig von einer durch eine Polarisationsachse vorgegebenen Vorzugsrichtung abweichen.

[0004] Die Piezokeramiken werden als Grundkörper von Piezo-Aktoren eingesetzt, welche beispielsweise Verwendung in Kraftfahrzeugen finden. Piezo-Aktoren werden in diesem Bereich vorzugsweise zur Steuerung der Position von Schließnadeln von Einspritzventilen in Kraftstoffeinspritzsystemen verwendet. Bei dieser Anwendung wird der Piezo-Aktor bei einer Temperatur von etwa 40 bis 150°C betrieben. Desweiteren erfolgt der Betrieb des Piezo-Aktors typischerweise bei einer Gleichspannung von bis zu 180 Volt, die in Form von kurzen Pulsen, die mit einer Frequenz zwischen 0,1 und 200 Hertz auftreten, an den Piezo-Aktor angelegt wird. Da bei diesen Anwendungen der gewünschte Effekt durch Längenänderungen der Piezokeramik von typischerweise 40 µm erreicht wird, ist es wichtig, daß der Keramik-Grundkörper im spannungslosen Zustand (Ruhezustand) eine konstante Länge (Ruhelänge) aufweist, die sich im Laufe der Zeit nicht ändert.

[0005] Es sind Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik bekannt, wobei bei einer Temperatur von etwa 25°C ein Spannungspuls in Form eines Dreieckspulses mit einer Dauer von 500 Sekunden an die Piezokeramik angelegt wird.

[0006] Die bekannten Verfahren zum Polarisieren der Piezokeramik haben den Nachteil, daß sie bei einer relativ geringen Temperatur durchgeführt werden. Bei einer Temperatur von 25°C weisen die elektrischen Dipolmomente der Piezokeramik nur eine sehr eingeschränkte Beweglichkeit auf, wodurch das Ausrichten der elektrischen Dipolmomente entlang einer durch die von außen angelegte Spannung vorgegebene Polarisationsachse nur sehr unvollständig erfolgt. Entsprechend ist eine verlängerte Polarisierungsdauer, das heißt, ein längeres Anlegen der Polarisierungsspannung, notwendig.

[0007] Desweiteren haben die bekannten Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik den Nachteil, daß durch den einmaligen dreieckförmigen Spannungspuls lediglich ein einmaliges Spannen und darauffolgendes Entspannen der Piezokeramik erfolgt. Dies bedeutet, daß bei einem späteren Betrieb der Piezokeramik mit einer Vielzahl von Span-

nungs- und Entspannungsvorgängen Setzeffekte auftreten können, die die Ruhelänge der Piezokeramik während des Betriebes verändern.

[0008] Dadurch haben die bekannten Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik auch den Nachteil, daß sich ein Einbau eines piezokeramischen Grundkörpers in ein durch die Abmessungen der Piezokeramik definiertes Gehäuse mit festen Abmessungen schwierig gestaltet, da sich, wie bereits oben erläutert, die Abmessung der Piezokeramik während des Betriebs als Piezo-Aktor noch verändern kann. Zur Erreichung einer hohen Verfahrweggenauigkeit ist dann eine Nachbearbeitung des Gehäuses notwendig.

[0009] Im Hinblick auf eine nachfolgende Verwendung der Piezokeramik in einem Piezo-Aktor für den Kraftfahrzeug-Bereich haben die bekannten Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik zudem den Nachteil, daß die Bedingungen, bei denen die Piezokeramik polarisiert wird (insbesondere die Temperatur und die verwendete Pulsform) nicht den Bedingungen beim späteren Betrieb im Kraftfahrzeug entsprechen. Auch dadurch besteht die Gefahr, daß sich durch Setzeffekte die geometrische Abmessungen der Keramik im Ruhezustand während des Betriebes noch weiter ändern.

[0010] Es ist ferner ein Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors bekannt, wobei aus mehreren übereinandergestapelten, mit Elektroden versehenen Piezokeramiken ein Grundkörper gebildet wird, so daß sich die Längenänderungen der einzelnen Keramiken auf diese Weise addieren. Der Grundkörper wird zwischen zwei parallel zu den Elektroden verlaufende Platten unter Ausübung einer Druckspannung auf den Grundkörper eingespannt. Anschließend wird die Piezokeramik mit dem bereits oben beschriebenen Verfahren polarisiert. Danach wird die zwischen die Platten eingespannte Piezokeramik so in ein Gehäuse eingebaut, daß die erste Platte relativ zum Gehäuse fixiert ist und daß die zweite Platte relativ zum Gehäuse bewegbar ist. Anschließend wird die Piezokeramik einem Alterungsprozeß unterzogen, der wenigstens eine Stunde dauert. Nach dem Altern der Piezokeramik wird durch Abtragen von Material, beispielsweise durch Abschleifen, von der zweiten, beweglichen Platte und/oder vom Gehäuse erreicht, daß die Außenseite der zweiten Platte mit dem Gehäuse plan ist. Somit werden die äußeren Abmessungen des Piezo-Aktors definiert, von wo aus dann durch Anlegen einer Spannung an die Piezokeramik die zweite Platte relativ zum Gehäuse um einen Verfahrweg von zirka 40 µm bewegbar ist. Anschließend erfolgt die weitere Montage des Piezo-Aktors, beispielsweise im Kraftfahrzeug.

[0011] Das bekannte Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors hat den Nachteil, daß sich durch Setzeffekte in der Piezokeramik die zweite, bewegliche Platte gegenüber dem Gehäuse verschiebt, so daß daraus ein unerwünschter Offset in der Ausdehnung des Piezo-Aktors beziehungsweise im Verfahrweg des Piezo-Aktors resultiert. In Experimenten wurden Setzeffekte nachgewiesen, die nach 100 Schaltzyklen eine Veränderung der Ruhelänge der Piezokeramik von 5 bis 7 µm bewirkt haben. Wegen des frühen Zeitpunkts des Polarisierens wirken sich zudem die nachfolgenden Verfahrensschritte zur Herstellung des Piezo-Aktors besonders nachteilig auf die Ruhelänge der Piezokeramik aus.

[0012] Ziel der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik anzugeben, das nachfolgende, die Ruhelänge der Piezokeramik verändernde Setzeffekte weitgehend vermeidet.

[0013] Ferner ist es Ziel der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors anzugeben, der stabile äußere Abmessungen auch während seines Betriebes aufweist.

[0014] Diese Ziele werden erfindungsgemäß durch ein Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik nach Anspruch 1 und durch ein Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors nach Anspruch 6 erreicht. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sowie die Verwendung eines gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Piezo-Aktors sind den weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

[0015] Die Erfindung gibt ein Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik an, das von einem Grundkörper aus unpolarisierter Piezokeramik ausgeht. Dieser Grundkörper weist wenigstens zwei flächig einander gegenüberliegende Elektroden auf. An diese Elektroden wird eine Anzahl von Spannungspulsen angelegt, deren Pulshöhen einer zeitabhängigen Hüllkurve folgen. Die Anzahl der Spannungspulse beträgt dabei mindestens zwei, so daß schon während des Polarisierens der Piezokeramik ein entsprechender Setzeffekt auftreten kann, der die Ruhelänge der polarisierten Piezokeramik stabilisiert.

[0016] Die Hüllkurve wächst in einem ersten Abschnitt während einer Anstiegszeit von einer minimalen Spannung auf eine maximale Spannung an. In einem zweiten Abschnitt wird während einer Haltezeit die maximale Spannung gehalten. Die minimale Spannung wird dabei so gewählt, daß beim Aufladen der Elektroden die maximal verträgliche Aufladung der noch unpolarisierten Piezokeramik nicht überschritten wird. Desweiteren wird die maximale Spannung so gewählt, daß sie zur Ausbildung einer dauerhaften Polarisierung geeignet ist.

[0017] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik hat den Vorteil, daß durch die Mindestanzahl von zwei Spannungspulsen während des Polarisierens bereits ein Setzeffekt eintritt, der die Ruhelänge der polarisierten Piezokeramik stabilisiert.

[0018] Desweiteren ist ein Verfahren besonders vorteilhaft, wobei die Spannungspulse während einer Pulsanstiegszeit von 0 Volt auf die jeweilige Pulshöhe ansteigen. Während einer Pulshaltezeit wird die Pulshöhe gehalten. Während einer Pulsabfallzeit fällt der Spannungspuls von der jeweiligen Pulshöhe auf 0 Volt ab. Darüber hinaus folgen die Spannungspulse mit einer konstanten Pulsfrequenz aufeinander und weisen eine Gesamtpulsdauer von kleiner oder gleich 12 Millisekunden auf.

[0019] Diese Spannungspulse haben den Vorteil, daß sie leicht erzeugbar sind, insbesondere dann, wenn sie eine Trapezform aufweisen. Durch ihre kurze Dauer von maximal 12 ms können sie innerhalb einer vertretbaren Zeitspanne mehrmals wiederholt werden. Diese Zeitspanne ist wesentlich kürzer als die Dauer des bekannten Verfahrens zum Polarisieren einer Piezokeramik. Somit wird durch das erfindungsgemäße Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik Zeit eingespart.

[0020] Ferner ist ein Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik besonders vorteilhaft, wobei gilt:

$50 \text{ ms} \leq \text{Pulsanstiegszeit} \leq 1 \text{ ms};$

$0,5 \text{ ms} \leq \text{Pulshaltezeit} \leq 10 \text{ ms};$

$50 \mu\text{s} \leq \text{Pulsabfallzeit} \leq 1 \text{ ms};$

$6 \leq \text{Zahl der Pulse} \leq 80\,000;$

$0,1 \text{ Hz} \leq \text{Pulsfrequenz} \leq 200 \text{ Hz};$

$60 \text{ s} \leq \text{Anstiegszeit} + \text{Haltezeit} \leq 300 \text{ s};$

$0,1 \leq \text{Anstiegszeit}/(\text{Anstiegszeit} + \text{Haltezeit}) \leq 0,9.$

[0021] Ein solches Verfahren hat den Vorteil, daß die Gesamtdauer (Anstiegszeit + Haltezeit) sehr kurz ist, verglichen mit den bekannten Zeitdauern zum Polarisieren. Durch die Variation des Anteils der Anstiegszeit an der Gesamtdauer des Polarisierungsverfahrens (Anstiegszeit + Haltezeit), kann das Polarisierungsverfahren an die Beweglichkeit der Domänenwände der Keramik flexibel angepaßt werden. Die Pulshaltezeit der einzelnen Spannungspulse wird

dabei so gewählt, daß die Domänenwände der Weiss'schen Bezirke auch Fehlstellen im Kristallaufbau der Piezokeramik überwinden können und so die Einstellung einer Polarisierungsrichtung nicht behindert wird.

[0022] Desweiteren ist ein Verfahren zur Polarisierung einer Piezokeramik besonders vorteilhaft, das bei einer Temperatur zwischen  $50^\circ\text{C}$  und  $150^\circ\text{C}$  durchgeführt wird. Durch diese hohe Temperatur wird erreicht, daß aufgrund der dadurch erhöhten Beweglichkeit der elektrischen Dipolmomente in der Piezokeramik ein in der Dauer verkürzter Spannungspuls zum Erreichen einer Vorzugspolarisierung genügt, beziehungsweise eine verbesserte und damit stabilere Polarisierung der Piezokeramik erreicht werden kann.

[0023] Desweiteren hat sich durch Experimente ein Verfahren zum Polarisierung einer Piezokeramik als besonders geeignet herausgestellt, wobei die maximale Spannung viermal so groß war, wie die minimale Spannung.

[0024] Darüber hinaus gibt die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors an, das, ausgehend von einem Grundkörper aus einer Piezokeramik, der wenigstens zwei flächig einander gegenüberliegende Elektroden aufweist, folgende Schritte umfaßt:

a) Einspannen des Grundkörpers zwischen zwei parallel zu den Elektroden verlaufende Platten, so daß die Platten eine Druckspannung bis zu 100 MPa auf den Grundkörper ausüben

b) Einbau des Grundkörpers so in ein Gehäuse, daß die erste Platte relativ zum Gehäuse fixiert ist und daß die zweite Platte relativ zum Gehäuse bewegbar ist

c) Polarisieren der Piezokeramik gemäß dem oben beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren

d) Abtragen von Material von der zweiten Platte und/oder vom Gehäuse, so daß die Außenseite der zweiten Platte mit dem Gehäuse plan ist.

[0025] Das Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors hat den Vorteil, daß das Polarisieren der Piezokeramik zu einem relativ späten Zeitpunkt erfolgt, wodurch auf den Alterungsprozeß verzichtet und somit Zeit eingespart werden kann.

[0026] Darüber hinaus ist es möglich, das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors so aufzuteilen, daß das Polarisieren der Piezokeramik bereits bei dem mit dem Piezo-Aktor zu beliefernden Kunden durchgeführt wird. Dadurch wird der Vorteil erreicht, daß bereits durch die kundenspezifische Anschlußstecker eine feste Polarisierung vorgegeben wird und somit auf eine Polarisierungscodierung (Pluspol und Minuspol, die durch das Polarisieren der Piezokeramik festgelegt sind) verzichtet werden kann.

[0027] Das Abtragen von Material von der zweiten Platte beziehungsweise vom Gehäuse kann beispielsweise durch Schleifen oder Fräsen erfolgen.

[0028] Die Erfindung gibt darüber hinaus die Verwendung eines mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Piezo-Aktors an, wobei Spannungspulse mit der maximalen Spannung des Verfahrens zum Polarisieren der Piezokeramik als Pulshöhe und mit einer Pulsdauer von maximal 12 ms verwendet werden. Ferner wird der Piezo-Aktor bei einer Temperatur verwendet, die von der Temperatur, bei der das Verfahren zur Polarisierung der Piezokeramik durchgeführt wurde, um weniger als 20% abweicht.

[0029] Die erfindungsgemäße Verwendung des Piezo-Aktors hat den Vorteil, daß die Spannungen und Temperaturen beim Betrieb des Aktors nur sehr wenig beziehungsweise gar nicht von den Spannungen und Temperaturen bei der Polarisierung der Piezokeramik abweichen. Dadurch sind die



optimalen Voraussetzungen zur Aufrechterhaltung einer festen Ruhelänge der Piezokeramik gegeben. Bei der weiter oben bereits beschriebenen Verwendung von Piezo-Aktoren im Kraftfahrzeug bei mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Piezo-Aktoren eine Veränderung der Ruhelänge während des Betriebs von weniger als 1 µm gemessen.

[0030] Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und den zugehörigen Figuren näher erläutert.

[0031] Fig. 1 zeigt den Verlauf einer beispielhaften Hüllkurve, der die bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Polarisierung der Piezokeramik angelegten Spannungspulse folgen.

[0032] Fig. 2 zeigt beispielhaft den zeitlichen Verlauf eines Spannungspulses, der beim erfindungsgemäßen Verfahren zur Polarisierung der Piezokeramik an die Piezokeramik angelegt wird.

[0033] Fig. 3 zeigt einen beispielhaften Piezo-Aktor während seiner Herstellung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren vor dem Polarisieren der Piezokeramik im schematischen Querschnitt.

[0034] Fig. 4 zeigt den Piezo-Aktor aus Fig. 3 nach dem Polarisieren der Piezokeramik und nach dem Abtragen von Material von der zweiten Platte und/oder vom Gehäuse.

[0035] Fig. 1 zeigt die eine Spannung  $U$  beschreibende Hüllkurve 5 in Abhängigkeit von der Zeit  $t$ . Die Hüllkurve 5 bestimmt dabei die Pulshöhe  $U_P$  der zum Polarisieren der Piezokeramik verwendeten Spannungspulse 4. Während einer Anstiegszeit  $T_A$  steigt die Hüllkurve 5 von einer minimalen Spannung  $U_{MIN}$  auf eine maximale Spannung  $U_{MAX}$  an. Dieser Anstieg verläuft im Beispiel aus Fig. 1 linear. Während einer Haltezeit  $T_H$  wird die maximale Spannung  $U_{MAX}$  von der Hüllkurve 5 gehalten. Die Gesamtdauer des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Polarisieren einer Piezokeramik ist dabei durch die Summe aus  $T_A$  und  $T_H$  gegeben. Die Gesamtdauer der Hüllkurve  $T_A + T_H$  beträgt zwischen 60 Sekunden und 300 Sekunden, vorzugsweise 180 Sekunden.

[0036] Die Spannungspulse 4 werden innerhalb der Hüllkurve 5 mit einer Pulsfrequenz  $F_P$  zwischen 0,1 Hertz und 200 Hertz wiederholt. Die minimale Spannung  $U_{MIN}$  beträgt vorzugsweise 40 Volt. Sie kann aber auch z. B. 20 Volt betragen. Die maximale Spannung  $U_{MAX}$  beträgt vorzugsweise 160 Volt. Sie kann aber auch z. B. 80 Volt betragen. Die Anstiegszeit  $T_A$  der Hüllkurve 5 hat einen Anteil an der Gesamtdauer des Polarisierungsvorgangs  $T_A + T_H$  zwischen 10 und 90%.

[0037] Fig. 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der Spannung  $U$  eines Spannungspulses 4 in Abhängigkeit von der Zeit  $t$ . Während einer Pulsanstiegszeit  $T_{PA}$  wächst der Spannungspuls 4 von 0 Volt auf die Pulshöhe  $U_P$  an. Dieses Anwachsen erfolgt im Beispiel aus Fig. 2 linear. Die Pulsanstiegszeit  $T_{PA}$  kann zwischen 50 µs und 1 Millisekunde, vorzugsweise 100 µs lang sein. Während einer Pulshaltezeit  $T_{PH}$  hält der Spannungspuls 4 die Pulshöhe  $U_P$ . Die Pulshaltezeit  $T_{PH}$  kann zwischen 0,5 ms und 10 Millisekunden variieren und beträgt vorzugsweise 1,5 ms. Während einer Pulsabfallzeit  $T_{PAB}$  fällt der Spannungspuls 4 von der Pulshöhe  $U_P$  auf 0 Volt ab. Die Pulsabfallzeit  $T_{PAB}$  kann zwischen 50 µs und 1 Millisekunde betragen. Vorzugsweise beträgt die Pulsabfallzeit  $T_{PAB}$  100 µs.

[0038] Der in Fig. 2 dargestellte Spannungspuls 4 hat die Form eines Trapezes, so daß er besonders einfach zu erzeugen ist. Eine weitere zu bevorzugende Ausführungsform des Spannungspulses 4 ist ein symmetrischer Spannungspuls 4, bei dem die Pulsanstiegszeit  $T_{PA}$  genauso groß ist wie die Pulsabfallzeit  $T_{PAB}$ .

[0039] Innerhalb der in Fig. 1 dargestellten Hüllkurve

können von dem in Fig. 2 dargestellten Spannungspuls 4 eine Anzahl von 6 bis 80.000 Pulse erfolgen. Vorzugsweise wird zum Polarisieren der Piezokeramik eine Anzahl  $N$  der Spannungspulse von 15.000 verwendet.

[0040] Fig. 3 zeigt einen Piezo-Aktor während seiner Herstellung durch das erfindungsgemäße Verfahren. Er besteht aus einem Grundkörper 1, welcher ein Körper aus einer Piezokeramik ist. Diese Piezokeramik weist 67 Gewichtsprozent  $Pb_3O_4$ , zirka 1 Gewichtsprozent  $Nd_2O_3$ , 21 Gewichtsprozent  $ZrO_2$  und etwa 11 Gewichtsprozent  $TiO_2$  auf. Die Erfindung ist jedoch nicht auf eine solche Piezokeramik beschränkt, sondern kann mit sämtlichen Keramiken verwirklicht werden, die geeignete piezoelektrische Eigenschaften aufweisen.

[0041] Der Grundkörper 1 weist erste Elektroden 2 und zweite Elektroden 3 auf, die kammartig ineinander greifen, wodurch sich die piezoelektrischen Effekte vieler einander gegenüberstehender Keramikschichten zwischen jeweils einer ersten Elektrode 2 und einer zweiten Elektrode 3 aufsummieren. Die ersten Elektroden 2 und die zweiten Elektroden 3 bestehen aus einer Mischung von Silber und Palladium im Gewichtsverhältnis zwischen 90/10 und 70/30. Der Grundkörper 1 ist durch Sintern hergestellt, weswegen als Elektroden 2, 3 alle bei Sinterbedingungen stabilen Metalle beziehungsweise Metallegierungen geeignet sind.

[0042] Der Grundkörper 1 hat die Form eines Quaders mit einer Grundfläche von  $7 \times 7$  mm. Er weist eine Höhe von 30 mm auf. Die ersten Elektroden 2 beziehungsweise die zweiten Elektroden 3 sind mit jeweils einer Außenelektrode 9 verbunden, die aus Silber besteht. Mittels Verbindungsdrähten 11 sind die Außenelektroden 9 mit Kontaktstiften 10 elektrisch verbunden.

[0043] Der Grundkörper 1 ist zusammen mit den Kontaktstiften 10 und den Verbindungsdrähten 11 in eine Vergußmasse 12 eingebettet, die aus Silikongummi besteht. Der in die Vergußmasse 12 eingehüllte Grundkörper 1 wird zwischen zwei Platten 6, 7 eingespannt. Die erste Platte 6 befindet sich dabei auf der Oberseite des Grundkörpers 1 in paralleler Ausrichtung zu den Elektroden 2, 3. Die zweite Platte 7 befindet sich auf der Unterseite des Grundkörpers 1, ebenfalls in paralleler Ausrichtung zu den Elektroden 2, 3. Zwischen den Platten 6, 7 ist eine Zugfeder 13 angeordnet, die die Form einer Rohrfeder hat und die die Platten 6, 7 zusammenpreßt, so daß eine Klemmkraft auf den Grundkörper 1 wirkt.

[0044] Beim Anlegen einer Gleichspannung zwischen den Kontaktstiften 10 dehnt sich der Grundkörper 1 aufgrund des piezoelektrischen Effekts in einer Richtung aus, die senkrecht auf den Elektroden 2, 3 steht und in der Figur durch einen Pfeil an der Unterseite der zweiten Platte 7 angedeutet ist. Dabei arbeitet der keramische Grundkörper 1 gegen die von der Zugfeder 13 ausgeübte Klemmkraft. Der in Fig. 3 dargestellte Piezo-Aktor ist so ausgelegt, daß er sich bei einer Spannung von etwa 150 Volt unter Ausübung einer Kraft von 1500 N um zirka 40 µm verlängert.

[0045] Die in die Vergußmasse 12 eingegossene Anordnung ist schließlich in ein Gehäuse 8 eingeschweißt, das so beschaffen ist, daß es mit der ersten Platte 6 fest verbunden ist, und daß die zweite Platte 7 relativ zum Gehäuse 8 frei beweglich ist. Der in Fig. 3 dargestellte Piezo-Aktor befindet sich in einem Zustand, in dem die zweite Platte 7 und das Gehäuse 8 auf der Unterseite des Piezo-Aktors noch keine gemeinsame ebene Fläche bilden.

[0046] Fig. 4 zeigt den in Fig. 3 dargestellten Piezo-Aktor nach dem Polarisieren der Keramik und nach dem Erzeugen einer planen Unterseite des Piezo-Aktors. Durch Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Polarisieren der Piezokeramik, die den Grundkörper 1 des Piezo-Aktors

bildet, ist es möglich, durch Abtragen von Material von der zweiten Platte **7** beziehungsweise von dem Gehäuse **8** eine plane Unterseite des Piezo-Aktors herzustellen, die sich auch im weiteren Betrieb des Piezo-Aktors nicht mehr wesentlich verändert. Die plane Unterseite gilt für den Fall des spannungslosen Ruhezustands der Piezokeramik und verändert sich während des erfindungsgemäßen Betriebs des Piezo-Aktors praktisch nicht mehr.

[0047] Die vorliegende Erfindung beschränkt sich nicht auf die dargestellten Ausführungsbeispiele, sondern wird in ihrer allgemeinsten Form durch die Patentansprüche 1 und 6 definiert.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik, wobei, ausgehend von einem Grundkörper (**1**) aus unpolarisierter Piezokeramik mit wenigstens zwei flächig einander gegenüberliegenden Elektroden (**2, 3**), eine Anzahl ( $N$ ) von Spannungspulsen (**4**) an die Elektroden (**2, 3**) angelegt wird, deren Pulshöhen ( $U_P$ ) einer zeitabhängigen Hüllkurve (**5**) folgen, die in einem ersten Abschnitt während einer Anstiegszeit ( $T_A$ ) von einer minimalen Spannung ( $U_{MIN}$ ) auf eine maximale Spannung ( $U_{MAX}$ ) anwächst und die in einem zweiten Abschnitt während einer Haltezeit ( $T_H$ ) die maximale Spannung ( $U_{MAX}$ ) hält, wobei die minimale Spannung ( $U_{MIN}$ ) so gewählt wird, daß beim Aufladen der Elektroden (**2, 3**) die maximal verträgliche Aufladung der noch unpolarisierten Piezokeramik unterschritten wird, wobei die maximale Spannung ( $U_{MAX}$ ) so gewählt wird, daß sie zur Ausbildung einer dauerhaften Polarisierung geeignet ist, und wobei  $N \geq 2$  ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Spannungspulse während einer Pulsanstiegszeit ( $T_{PA}$ ) von 0 V auf die jeweilige Pulshöhe ( $U_P$ ) ansteigen, während einer Pulehaltezeit ( $T_{PH}$ ) die Pulshöhe ( $U_P$ ) halten und während einer Pulsabfallzeit ( $T_{PAB}$ ) von der jeweiligen Pulshöhe ( $U_P$ ) auf 0 V abfallen, wobei die Pulsdauer  $T_{PA} + T_{PH} + T_{PAB} \leq 12$  s ist, und wobei die Spannungspulse (**4**) mit einer konstanten Pulsfrequenz ( $F_P$ ) aufeinanderfolgen.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei gilt:  
 $50 \mu s \leq T_{PA} \leq 1$  ms;  $0,5$  ms  $\leq T_{PH} \leq 10$  ms;  
 $50 \mu s \leq T_{PAB} \leq 1$  ms;  $6 \leq N \leq 80\,000$ ;  
 $0,1$  Hz  $\leq F_P \leq 200$  Hz;  $60$  s  $\leq T_A + T_H \leq 300$  s;  
 $0,1 \leq T_A / (T_A + T_H) \leq 0,9$ .
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, das bei einer Temperatur zwischen  $50^\circ\text{C}$  und  $150^\circ\text{C}$  durchgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, wobei gilt:  $U_{MAX} = 4 \times U_{MIN}$ .
6. Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors, ausgehend von einem Grundkörper (**1**) aus einer Piezokeramik, der wenigstens zwei flächig einander gegenüberliegenden Elektroden (**2, 3**) aufweist, mit folgenden Schritten:
  - a) Einspannen des Grundkörpers (**1**) zwischen zwei parallel zu den Elektroden (**2, 3**) verlaufende Platten (**6, 7**), so daß die Platten eine Druckspannung auf den Grundkörper (**1**) ausüben
  - b) Einbau des Grundkörpers (**1**) so in ein Gehäuse (**8**), daß die erste Platte (**6**) relativ zum Gehäuse (**8**) fixiert ist und daß die zweite Platte (**7**) relativ zum Gehäuse (**8**) bewegbar ist
  - c) Polarisieren der Piezokeramik gemäß einem Verfahren nach Anspruch 1 bis 5

d) Abtragen von Material von der zweiten Platte (**7**) und/oder vom Gehäuse (**8**), so daß die Außen-seite der zweiten Platte (**7**) mit dem Gehäuse (**8**) plan ist.

7. Verwendung eines gemäß dem Verfahren nach Anspruch 6 hergestellten Piezo-Aktors mit Spannungspulsen einer Pulshöhe, die der maximalen Pulshöhe ( $U_{MAX}$ ) entspricht, einer maximalen Pulsdauer von 12 s und bei einer Temperatur, die von der Temperatur, bei der das Verfahren zur Polarisierung der Piezokeramik durchgeführt wurde, um weniger als 20% abweicht.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---



FIG 1

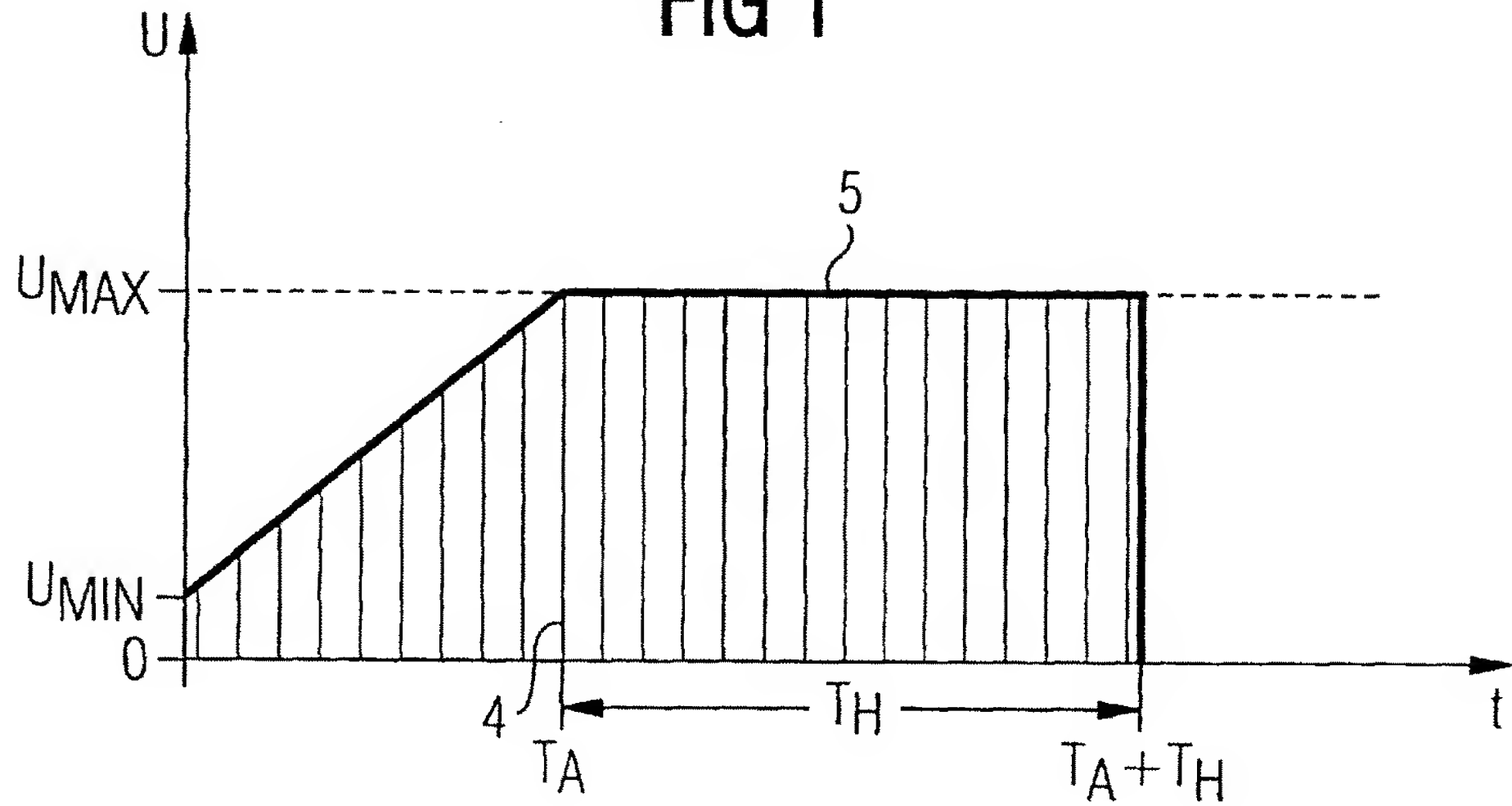


FIG 2

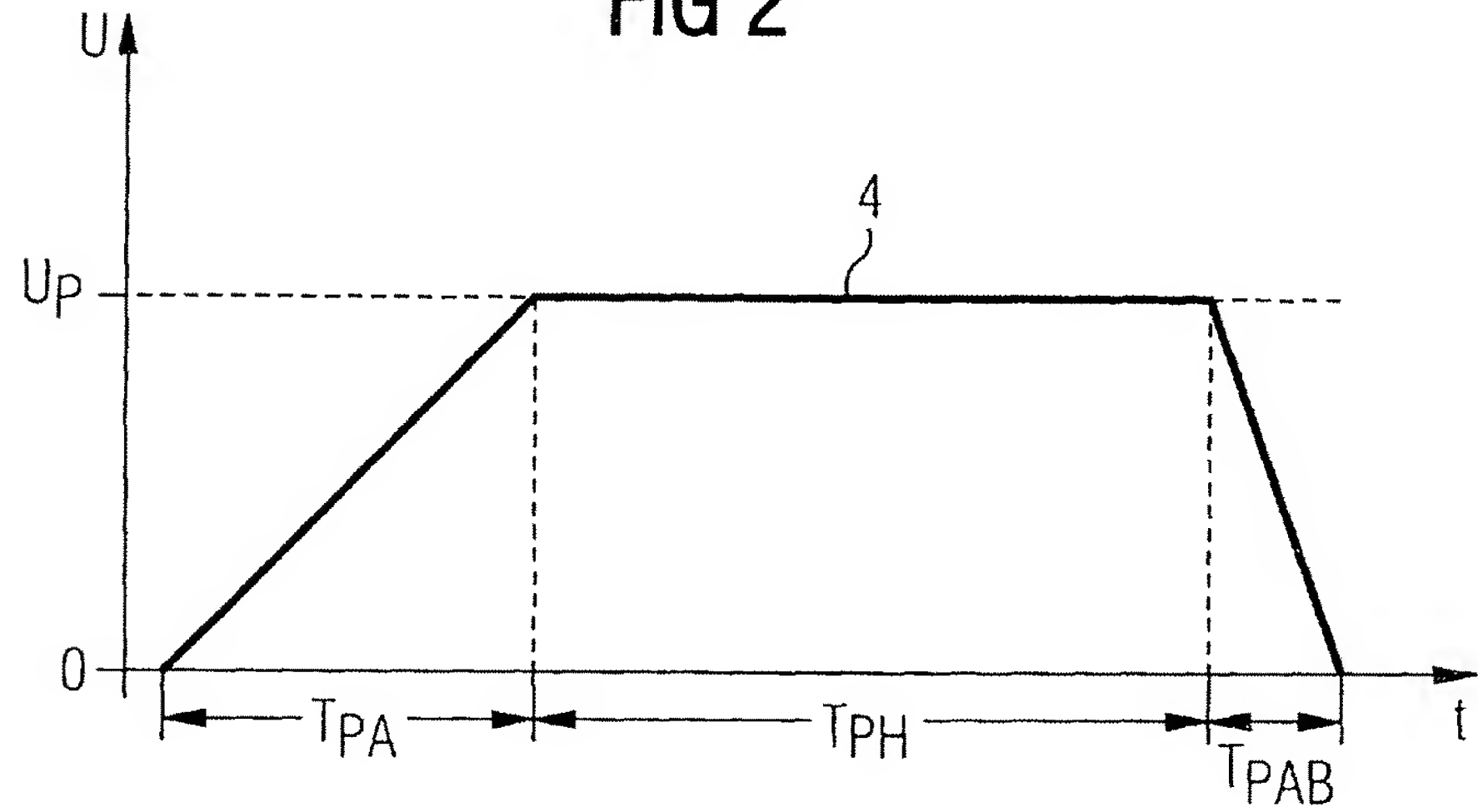


FIG 3

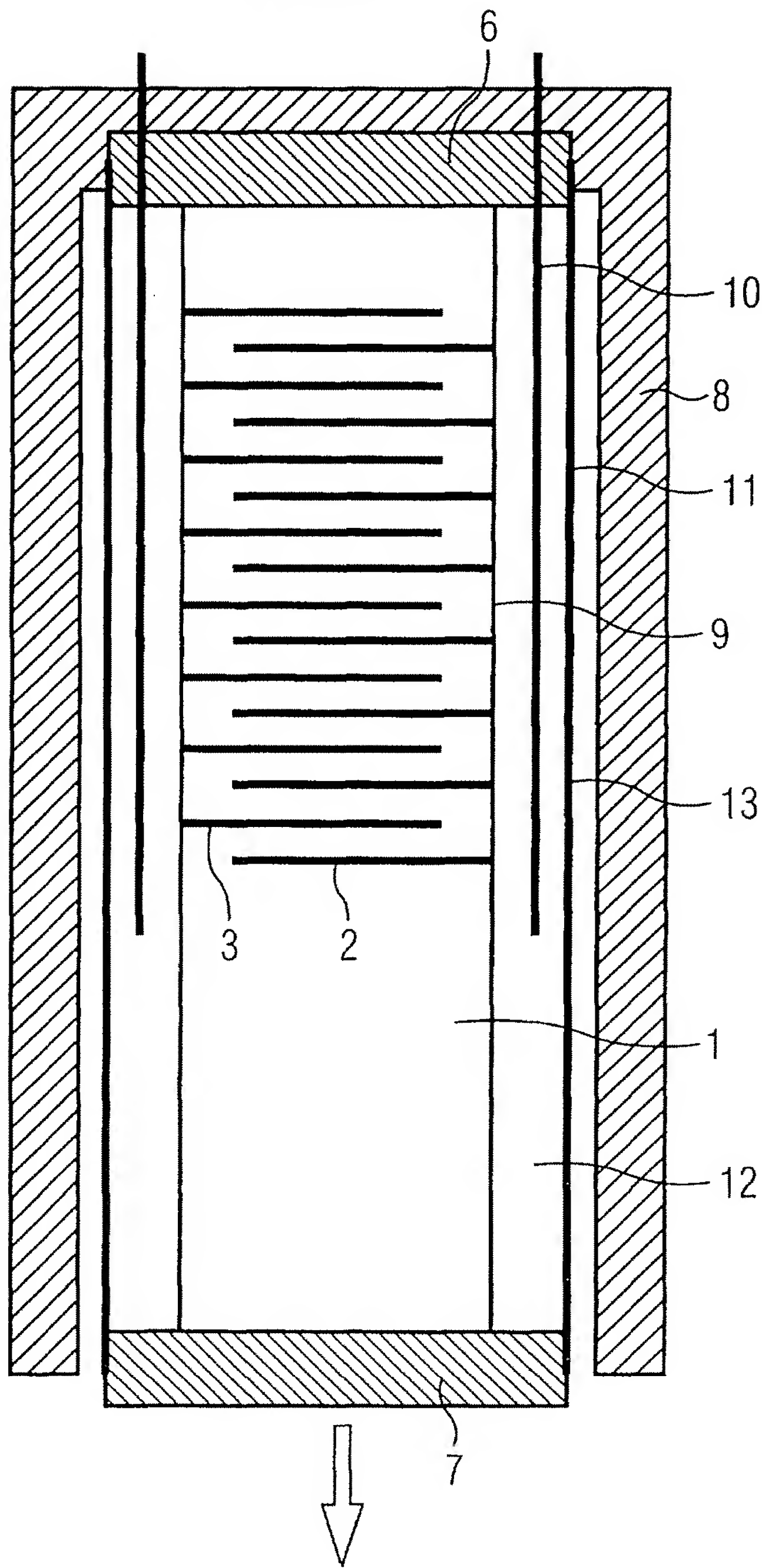


FIG 4

